
KUOPPAKANKAAN KOULUN YLÄPOHJAN KOSTEUSTEKNISTEN ONGELMIEN SYIDEN SELVITYS



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Rakennustekniikka

Visamäki, syksy 2013

Antti Hirvonen



TOIMIPISTE
Rakennustekniikka
Rakennustuotanto

Tekijä	Antti Hirvonen	Vuosi 2013
Työn nimi	Kuoppakankaan koulun yläpohjan kosteustekninen ongelmien syiden selvitys	

TIIVISTELMÄ

Varkauden kaupungin omistamassa Kuoppakankaan koulussa esiintyy yläpohjan kosteusteknisiä ongelmia. Työntilaajana Varkauden kaupunki antoi tehtäväkseni selvittää ongelmien syyt ja pohtia korjausratkaisuja. Tilaaja halusi myös yläpohjaan nykymääräysten mukaisen lämmöneristyksen.

Työn tavoitteena on esittää yläpohjan tarvittavat muutokset, jotta yläpohjasta saadaan toimiva kokonaisuus nykyaikaisella lämmöneristävyydellä sekä alustava kustannusarvio. Selvityksen tiedoilla kaupungin on myöhemmin tarkoitus hakea korjaukselle rahoitusta.

Työssä selvitetään nykyisen yläpohjan kosteustekninen toimivuus doflämpö-ohjelmalla. Verrataan nykyistä tuuletusta suosituksiin ja määräyksiin. Yläpohjan u-arvot lasketaan ja tarkastellaan nykyisten rakenteiden virheellisyyttä kosteus sekä lämpökameramittauksilla. Ongelmien selvittyä mitoitetaan yläpohjaan eristys ja tuuletus, sekä tuodaan ilmi muut korjattavat seikat. Mitoitusarvoilla pohditaan ja vertaillaan korjaustapoja. Parhaalle korjausratkaisulle lasketaan alustava kustannusarvio ja pohditaan korjaustyön tarpeellisuutta.

Työssä käytetään lämpökameraa, kosteusmittaria, Dof-lämpö ohjelmaa, rakennusmääräyskokoelmaa, suosituksia, valmistajien sivuja sekä Cadsuunnitteluohjelmaa.

Tutkimusten tuloksena päädyttiin korottamaan kattoa, jotta voidaan toteuttaa ohjeistusten mukainen ilmanvaihtuvuus sekä lämpöeristys. Muita töitä ovat rakenteiden muutokset sekä tarvittavat lisäeristykset.

Työssä esitetään tarvittavat yläpohjan muutokset. Tiedoilla voidaan suunnitella korjauksen rakennekuvat, laskea tarkemmin kustannusarvio sekä hakea rahoitusta korjauksille.

Avainsanat yläpohja, lisäeristäminen, tuuletus, kosteus, korjausrakentaminen

Sivut 35 s. + liitteet 11 s.

Visamäki
Degree Programme in Construction Engineering

Author	Antti Hirvonen	Year 2013
Subject of Bachelor's thesis	Causes of the moisture problems in the roof of Kuoppakangas school	

ABSTRACT

This thesis was commissioned by the town of Varkaus. The school of Kuoppakangas owned by the town has moisture problems in the roof. The purpose of the thesis was to find out the causes of the problems and to work out repair solutions. The commissioner of the study also wanted to have thermal insulation which complies with today's regulations.

The aim was to present the necessary repairs and alterations in the roof with modern thermal insulation and to provide a preliminary budget.

The tools used in the study included a thermal camera, hygrometer, DOF-Therm software and Cads Planner program. Building regulations, recommendations and manufacturers' home pages were also utilized.

The moisture-related functionality of the existing roof was examined with DOF-Therm software. The existing ventilation was compared to the recommendations and regulations. The U-values of the roof were calculated and the failures in the existing structure were inspected with a hygrometer and a thermal camera. After the problems were detected, new thermal insulation and ventilation values were calculated and other minor problems were taken into account. The calculated values were used to compare and analyze various renovation alternatives. A preliminary budget was calculated for the best alternative and the necessity of the repair was discussed.

As a result of the investigation it was decided to raise the roof so that the thermal insulation and ventilation could be installed according to the regulations. Other repairs include structure modifications and necessary additional thermal insulation.

The thesis presents the required changes in the roof. This data can be used to design the structural drawings of the repair, to calculate a more accurate budget and apply for funding for the renovation.

Keywords Roof, additional thermal insulation, ventilation, moisture, renovation

Pages 35 p. + appendices 11 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Toimeksiannon tausta.....	1
1.2	Aiheen rajaus ja korjauksen reunaehdot.....	1
1.3	Suojelu.....	1
1.4	Tilaaajan toiveet.....	2
1.5	Tavoitteet.....	2
2	KUOPPAKANKAAN KOULU JA HISTORIA.....	2
2.1	Perustiedot.....	2
2.2	Historia.....	2
2.3	Kuoppakankaan koulurakennuksen peruskorjaus 1995.....	3
2.4	Ikkunaremontti 2012.....	4
3	YLÄPOHJAN KOSTEUS JA HÖYRYNSULKU.....	4
3.1	Mikä on yläpohja.....	4
3.2	Tyypilliset yläpohjarakenteet vuonna 1960.....	4
3.3	Tekniset vaatimuksia ja määräyksiä.....	5
3.3.1	Teknisiä vaatimuksia.....	5
3.3.2	Kosteus määräyksiä.....	5
3.3.3	Höyrynsulkua koskevat määräykset.....	6
3.4	Nykyinen rakenne.....	6
3.5	Tarkastelu.....	7
3.6	Korjaustapa.....	7
3.6.1	Katon rakenteiden korjaus.....	7
3.6.2	Ikkunaelementin korjaus.....	9
4	ONGELMAT JA NIIDEN AIHEUTTAJAT.....	10
4.1	Ongelmien aiheuttajat.....	11
4.2	Rakenteellinen toimivuuden tarkastelu.....	11
4.2.1	Laselementit.....	12
4.2.2	Piirustuksista selviävät ongelmat.....	13
4.2.3	Paikalla todetut ongelmien aiheuttajat.....	14
4.3	Yhteenvedo.....	16
5	LÄMMÖNERISTYS.....	17
5.1	Määräykset.....	17
5.2	Nykyinen lämmöneriste.....	17
5.2.1	U-arvon laskeminen.....	18
5.2.2	Laselementtien u-arvo.....	19
5.3	Tarkastelu.....	19
5.3.1	Lisäeristäminen sisäpuolelta.....	20
5.3.2	Lämpöeristeiden korvaus ja lisäeristäminen sisäpuolelta.....	20
5.3.3	Lämpöeristäminen tyhjiöeristelevyllä.....	21
5.3.4	Lisäeristys puhallusvillalla kattoa korottamalla.....	21
5.3.5	Eristeiden vaihto.....	22
5.4	Korjaustapa.....	22

6	ILMANVAIHTO	23
6.1	Määräykset	23
6.2	Nykyinen yläpohjan tuuletus.....	23
6.3	Tarkastelu	23
6.3.1	Tuuletuksen mitoittaminen	24
6.3.2	Yläpohjan poistoilman toiminta	25
6.3.3	Alipainetuulettimet	26
6.3.4	Harja- ja seinäliitoksen poistoilmat	27
6.3.5	Tuloilma	28
6.3.6	Tuloilma säilyttämällä kattorakenne entisellään	28
6.3.7	Tuloilma kattoa korottamalla	30
6.4	Korjaustapa.....	31
6.4.1	Korjaustapa kattoa korottamalla.....	31
7	KORJausehdotus	32
7.1	Katon rakenteet ja veden poisto	32
7.2	Ikkunaelementti	32
7.3	Eristäminen.....	32
7.4	Tuuletus	32
8	KORJAUSTEN KANNATTAVUUS	33
8.1	Lisäeristämisen tuoma säästö	33
8.2	Alustava kustannusarvio	33
8.3	Remontin hyödyt	34
	LÄHTEET	36

Liite 1	Ullakon lisäeriste ja rakenne
Liite 2	Fluke lämpökamerakuvat IV-kanavavuoto
Liite 3	Fluke lämpökamerakuvat eristeet
Liite 4	Kosteusmittaus lukutaulukko
Liite 5	Dof-lämpöohjelma, alkuperäinen eristys
Liite 6	Dof-lämpöohjelma, ullakon peruskorjauksen jälkeinen eristys
Liite 7	Dof-lämpöohjelma, KL-33 lämpimälle puolelle
Liite 8	Dof-lämpöohjelma, eristeiden vaihto KL-32 molemmin puolin
Liite 9	Dof-lämpöohjelma, eristeiden vaihto tyhjiöeriste
Liite 10	Dof-lämpöohjelma, lisäeristys puhallusvilla
Liite 11	Dof-lämpöohjelma, eristeiden vaihto KL-32

1 JOHDANTO

EU on asettanut tavoitteikseen vuoteen 2020 mennessä vähentää 20 prosenttia kasvihuonekaasuja ja parantaa 20 prosenttia energiatehokkuutta. Nämä tavoitteet heijastuvat vahvasti rakentamiseen niin EU, kuin kansallais- tasolla. Rakennuttajat ja omistajat haluavat rakennuksistaan kustannuste- hokkaampia, jonka seurauksena uusia tehdään ja vanhoja rakennuksia re- montoidaan energiatehokkaimmiksi. (europa.eu/policies)

Rakennuksia muutetaan energiatehokkaimmiksi yleensä lisäämällä lämpö- eristeitä ja tiivistämällä rakenteita. Nämä seikat tuovat mukanaan haasteita, varsinkin vanhoja rakennuksia remontoimassa. Remontin suunnitteluvai- heessa pitäisi laskea tarkasti remontin vaikutus rakenteiden fysikaaliseen toimivuuteen.

Valitettavan usein remontit on tehty ilman kunnollista rakennefysikaalista suunnittelua. Yläpohjan toimivuus on herkkä muutoksille, kuten lisäeristä- miselle, tiiveyden lisäämiselle sekä yläpohjaan asennettujen putkistojen tai koneistojen aiheuttamille muutoksille. Näitä ongelmia on lukuisissa suoma- laisissa rakennuksissa.

1.1 Toimeksiannon tausta

Työn tilaaja on Varkauden kaupunki. Varkauden kaupunki tarjosi minulle ajankohtaisen opinnäytetyöaiheen. Kaupungin omistamassa kiinteistössä Kuoppakankaan koulun yläpohjassa on ilmennyt rakennusfysikaalisia on- gelmia. Ongelmat ovat aiheuttaneet rakenteisiin kosteusvaurioita. Ongel- mien syiden selvittäminen ja kohteen korjaustekninen suunnittelu sekä kor- jaus pitäisi tehdä mahdollisimman pian.

1.2 Aiheen rajaaminen ja korjauksen reunaehdot

Työssä selvitetään aluksi 1960-luvun yläpohjien rakenteita. Keskitetään Varkauden Kuoppakankaan koulun yläpohjan alkuperäisiin rakenteisiin, niihin tehtyihin korjauksiin ja sen jälkeen ilmenneisiin ongelmiin. Näitä on- gelmia lähdetään ratkaisemaan selvittämällä entinen sekä nykyinen yläpoh- jarakenne sekä niiden toimivuus rakennusfysikaalisesti. Keskeisimpiä työ- kaluja ovat lämpökamera, kosteusmittari (Gan Hyndromette UNI 2), Excel taulukot sekä Dof-lämpöohjelma. Ongelmien aiheuttajien tiedostamisen jäl- keen työssä tutkitaan korjausvaihtoehtoja sekä tehdään yhteenvetona esitys korjausten laajuudesta.

1.3 Suojelu

Yläpohjan suunnittelussa täytyy ottaa huomioon kohteen mahdollinen suo- jeluaste, joka Kuoppakankaan koululla on SR-18.”Kulttuurihistorian kan- nalta merkittävä rakennus. Rakennusta ei saa purkaa ilman pakottavaa

syytä. Rakennusta korjattaessa, muutettaessa tai laajennettaessa tulee korjaus- ja muutostoimenpiteet tai lisärakentaminen sovittaa olevan rakennuksen rakennustapaan ja ulkoasuun.” (Varkauden kaupunki)

Käytännössä tämä tarkoittaa, ettei monimuotoisen katon julkisivua saa juurikaan muuttaa. Katon merkitys julkisivuun kasvaa, kun kaltevuus lisääntyy yli 1:20:n, kuten Kuoppakankaan koulussa. (Suomen kattoliitto, rakentamismääräyskokoelma C2, Varkauden kaupunki rakennusvalvonta ja kaavoitus)

1.4 Tilaajan toiveet

Tilaaja haluaa muuttaa yläpohjan toimivaksi ja nykyajan eristysarvoja vastaavaksi.

1.5 Tavoitteet

Työn tavoitteena on selventää tilaajalle, mistä yläpohjan ongelmat johtuvat, pohtia ongelmille ratkaisut ja esittää parasta korjausvaihtoehtoa. Esitetyllä ratkaisulla voidaan laskea korjauksille tarkka kustannusarvio tai hakea urakkatarjousta.

2 KUOPPAKANKAAN KOULU JA HISTORIA

2.1 Perustiedot

Kuoppakankaan koulu sijaitsee Pohjois-Savossa, Varkauden kaupungissa, Kuoppakankaalla. Koulu rakennettiin vuosina 1960-1961 oppilaspaikkojen vähyys takia. Koulun suunnitteli kauppalanarkkitehti Heikki Korppi-Tommola ja Urakka Oy rakensi sen. Opetustyö voitiin aloittaa 1.2.1961, mutta koulu vihittiin virallisesti käyttöön vasta 8.4.1961 ja lopullinen vastaanotto tapahtui 23.10.1961. Rakennuksen tilavuus on 17 000 m³, brutto-ala 5900 m² ja tontin ala 12 400 m².

(Varkauden rakennuskulttuuria 1996) (Varkauden kansakoulu 100-vuotias 1862-1962)

2.2 Historia

Koulun tarpeellisuus tiedostettiin jo vuonna 1931, mutta sisällissodan ja toisen maailmasodan takia rakentaminen alkoi vasta 1960 luvulla. Koulu valmistui vuonna 1961 (kuva 1).



Kuva 1. Kuoppakankaan koulu (Antti Hirvonen)

Alun perin rakennus tehtiin kansa-, kansalais- ja erityiskoulun tarkoituksiin. Tämän jälkeen talossa on toiminut monia erikouluja. Vuonna 1995 Varkauden kaksi lukiota päätettiin yhdistää ja keskittää niiden toiminta kuoppakankaan kouluun. Samaisena vuonna kohteeseen päätettiin tehdä peruskorjaus koulujen yhdistymisen sekä rakenteiden kunnon sitä vaatiessa. Seuraava suurempi investointi rakennukseen oli vuoden 2012 ikkunaremontti.

Koulun yläpohja koostui sisältäpäin lueteltuna 180 millimetriä paksusta betonivalusta ja 100 millimetriä vahvasta mineraalivilla levystä. Koulun aulan kohdalla yläpohja koostuu osittain lasielementeistä. Puurakenteiset katto- tuolit lepäsivät betonipalkkien päällä. Vesikatteena on pelti.

Nykyisin rakennuksessa toimii ala-aste sekä lukio.
(Varkauden kansakoulu 100-vuotias) (www.sakky.fi)

2.3 Kuoppakankaan koulurakennuksen peruskorjaus 1995

Rakennuksen iän, kunnon ja kahden lukion yhdistymisen johdosta kouluun tehtiin peruskorjaus. Peruskorjaus suoritettiin vuosina 1995-1996. Samalla koulun tiiveyttä ja lämmöneristävyyttä parannettiin sekä LVI-järjestelmät uusittiin.

Rakenteiden pinnat, kuten julkisivut, sisäseinät, ovet ja ikkunat kunnostettiin, mutta jätettiin rakenteellisesti entiselleen.

Tiivistystöitä olivat ovien, ikkunoiden ja seinien liitoskotien ilmantiiveyden lisääminen ja parantaminen. Liitoskohtien saumat on täytetty ulkopuolelta 2/3 mineraalivillalla ja 1/3 sisäpuolelta polyuretaanivaahdolla. Remontissa uusittiin ikkunoiden sisäpuutteiden silikoniprofiilitiivisteet, sekä 1-lasisten ullakon ikkunat.

LVI-remontissa uusittiin alakoulun, joidenkin lukion luokkien LVI-laitteet sekä ullakolle rakennettiin kaksi ilmanvaihtokonehuonetta. Kaikki mahdolliset viemärit, putkistot ja IV-kanavat vedettiin entisiin pystyhormeihin. Uudet ja vanhat läpiviennit tiivistettiin huolella yläpohjan ja vesikatteen läpivienneissä. Uudet IV-koneet säädettiin siten että talossa on kaikissa olosuhteissa alipaine (10 Pa) ulkoilmaan verrattuna.

Matalasta ullakosta johtuen vesikattea jouduttiin korottamaan uusien konehuoneiden kohdalta. Luoteispään katto nousi 0-0,25 metriä vanhan katteen päälle. Koillispään IV-konehuone rakennettiin lähes kokonaan vanhankaton päälle. Molempien IV-konehuoneiden ilmanvaihto on järjestetty koneellisesti ja poistoilma on ohjattu oikeaoppisesti ulkoilmaan.

Samassa yhteydessä ullakolle lisättiin 200 millimetrin kerros lisäpuhallusvillaeristettä. Lämmöneristeen paksuus kasvoi 100 millimetristä 300 millimetriin (liite 1). Yläpohjan lasielementit jäivät entiselleen. (Varkauden kaupunki rakennusvalvonta 2013)

2.4 Ikkunaremontti 2012

Kuoppakankaan koululle vaihdettiin vuonna 2012 nykyaikaisia säännöksiä vastaavat ikkunat. Vuodesta 2010 alkaen uudisrakenteiden ikkunoiden u-arvot saavat olla enintään 1,0W/m²K.

(Varkauden kaupunki rakennusvalvonta 2013, RT RakMK-21099, Suomen rakennusmääräyskokoelma C4lämmöneristys)

3 YLÄPOHJAN KOSTEUS JA HÖYRYNSULKU

3.1 Mikä on yläpohja

Yläpohja on rakennuksen ylin rakenneosa. Sen tyypillinen koostumus ulkopäin lueteltuna on vesikate, vesikatteen pohjarakenne, mahdollinen aluskate, tuulettuva osa, ylimmän rakennuskerroksen kantava rakenne, johon liittyy lämmöneriste ja höyrynsulku. Yläpohjaan kuuluu myös mahdollinen ylimmänkerroksen katon verhous. Kaikki yläpohjat eivät koostu esimerkin mukaisesti. Joissakin rakennuksissa ei ole tuuletusosaa, kuten umpinaisissa tasakatoissa. (Suomen rakennusmääräyskokoelma)

3.2 Tyypilliset yläpohjarakenteet vuonna 1960

1960-luvun alussa katot olivat varsin monimuotoisia. Tyypillisimpiä muotoja olivat matalat harjakatot, pulpettikatot ja porrastetut harjakatot, sekä näiden yhdistelmät. 1960-luvulla ilmestyi myös valetasakatot, joissa rakennuksen julkisivuseinät rakennettiin, niin korkeaksi ettei katon muodot näkyneet. Varsinaiset tasakatot yleistyivät 1960-luvun lopussa. Käyttöullaikoita ei enää tällä vuosikymmenellä tehty, mutta porrastettuihin kattoihin sijoitettiin korotettuja osia käyttötilaksi.

Vesikatteena käytettiin yleisesti peltiä ja joskus huopaa. 1950 luvulla markkinoille tulleen rullapellin konesaumaus kehitettiin 1960 luvun alussa. Saumat tehtiin kaksinkertaisina ja pelti oli galvanoitua.

Yläpohjat oli painovoimaisesti tuuletettuja ilmanvaihto aukoilla.

Tämän ajan yleisin lämmöneriste oli lastuvillalevy. Eristepaksuuksien ohjearvot olivat samat koko Suomessa.

(Kerrostalot 1960-1985 Rakennustieto, Erkki Mäkiö, Maarit Malinen, Petri Neuvonen, Kari Vikström, Risto Mäenpää, Jukka Saarenpää, Esko Tähti)

3.3 Tekniset vaatimuksia ja määräyksiä

3.3.1 Teknisiä vaatimuksia

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sen olennaiset tekniset vaatimukset täytetään ja voidaan tavanomaisella kunnossapidolla säilyttää rakennuksen suunnitellun käyttöikänsä. Rakennusta koskevat olennaiset tekniset vaatimukset ovat seuraavat.

6) Energiatalous ja lämmöneristys.

Rakennuksen ja sen lämmitys-, jäähdytys- ja ilmanvaihtolaitteiden tulee ilmastotilat ja rakennuksen käyttäjät huomioon ottaen olla sellaisia, että energiankulutustaso rakennusta ja mainittuja laitteita käytettäessä jää alhaiseksi. (Suomen säädöskokoelma 50 § 895/1999 MAANKÄYTTÖ- JA RAKENNUSASETUS julkaistu 03.08.2010)

3.3.2 Kosteus määräyksiä

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa C2 osiossa on seuraavanlaisia säännöksiä koskien yläpohjien rakentamista kosteuden kannalta. Tähän kappaleeseen on kerätty työhön keskeisesti vaikuttavat määräykset.

6.1.1

Vesikaton on estettävä sadeveden, lumen ja sulamisveden tunkeutumisen kattorakenteisiin, seiniin ja sisätiloihin.

6.1.1.1

Räystäiden tekeminen riittävän ulkoneviksi on suositeltavaa seinärakenteiden suojaamiseksi.

6.1.1.2

Lumen sulamista ja veden jäätymistä räystäällä voidaan ehkäistä yläpohjan riittävällä lämmöneristyksellä ja ilmatiiviydellä sekä tuuletusvälillä vesikaton ja yläpohjan välissä.

6.1.2

Katto on suunniteltava ja rakennettava siten, että vesi poistuu katolta suunnitellulla tavalla rakennusta vahingoittamatta.

6.1.3

Vesikatolla on oltava katteelle sopiva riittävä kaltevuus ja tiiviys veden poisjohtamiseksi. Katteen on kestävä ilmastorasitukset, lumen ja jään aiheuttamat rasitukset sekä huoltotoimenpiteiden vaatima liikkuminen katolla.

6.1.3.2

Jos käytetään limisaumattua katetta ilman tiivistettyjä saumoja (esim. kattotiili, muotolevy), alapuoliset rakenteet suojataan veden pois johtavalla aluskatteella. Aluskatteen limitykset, liittymät ja lävistyksien tiivistykset tehdään siten, että aluskate johtaa sitä pitkin valuvat vedet riittävän pitkälle ulkoseinälinjan ulkopuolelle. Aluskate sijoitetaan siten, että sen ja varsinaisen katteen väliin muodostuu riittävästi tuulettuva tuuletusväli. Konesaumattun tai muutoin tiiviiksi saumatun peltikaton alapuolella käytetään aluskatetta tai kosteutta sitovaa alusrakennetta kuten yhtenäistä ruodelaudoitusta.

(Suomen rakentamismääräyskokoelma C2)

3.3.3 Höyrynsulkua koskevat määräykset

Tätä työtä koskevat määräykset:

6.2.1.1

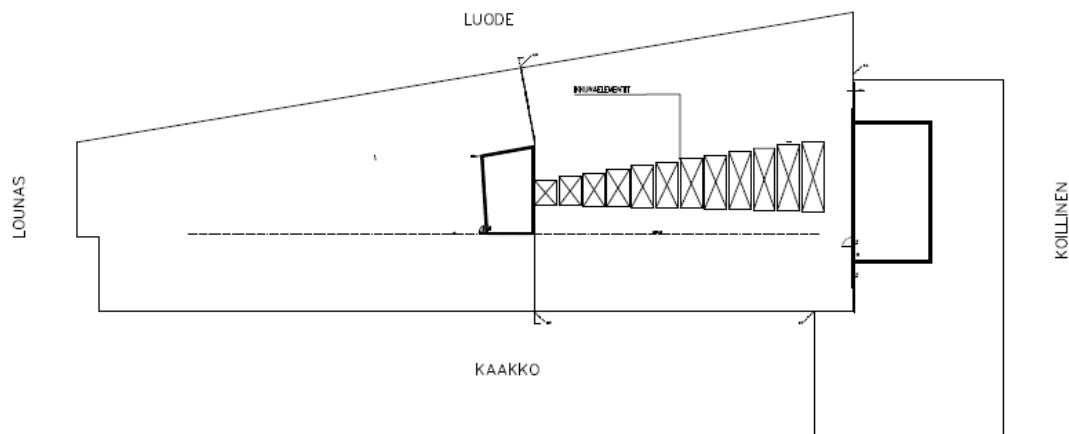
Puurakenteisen yläpohjan höyry- ja ilmatiiviys varmistetaan asentamalla lämmöneristyksen sisäpintaan höyrynsulku tai höyrynsulkuna toimiva ainekerros ja tarkoituksenmukaiseen kohtaan ilman läpivirtauksen estävä ilmansulku tai ilmansulkuna toimiva ainekerros. Erillinen höyrynsulku voidaan tiivistää myös ilmansuluksi. Yläpohjan ilmansulku liitetään tiiviisti seinien ilmansulkuun tai ilmansulkuna toimivaan ainekerrokseen. Ilmansulun liittymät ja lävistykset tiivistetään huolellisesti.

(Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto, Suomen rakentamismääräyskokoelma, KOSTEUS, Määräykset ja ohjeet 1998)

3.4 Nykyinen rakenne

Yläpohja koostuu sisältäpäin lueteltuna 180 millimetriä paksusta betonilattasta ja 100 millimetriä vahvasta mineraalivilla levystä ja 200 mm korkeasta puhallusmineraalivillasta. Puurakenteiset kattotuolit lepäävät betonipalkkien päällä. Vesikatteena on konesaumattu pelti.

Koulun aulan kohdalla yläpohja on tehty lasielementeistä (kuva2). Siinä on tuplalasit ja lasien välissä ilmarako. Elementtien päällä on samanlainen peltikate kuin muualla yläpohjassa.



Kuva 2. Ikkunaelementit (Antti Hirvonen)

Rakennuksen vesikate on ajan mukaan tyypillisesti monimuotoinen. Se vaihtelee aumakatosta pulpetti- sekä porrastettuun harjakattoon. Kattokaltevuudet vaihtelevat eripuolilla harjaa. Vuoden 1995 peruskorjaus remontin yhteydessä vanhan vesikatteen yläpuolelle on tullut uusia katteita. Ne ovat ilmanvaihtokonehuoneiden kattoja.

(Varkauden kaupunki rakennusvalvonta 2013)

Yläpohjan paikallavalettu betoni toimii itsessään höyrynsulkuna. Entiset mineraalivillaeristeet eivät ole herkkiä vuodoille.

3.5 Tarkastelu

Koulun vesikate on kaltevuudeltaan toimiva, mutta sen pinta on hilseillyt ja ruostunut. Kate vaatii uusimista. Katteen uusimisen yhteydessä sen kaikki vaatimukset korjautuvat vaaditulle tasolla.

Laselementit ovat tällä hetkellä toimivat. Elementit olisi syytä vaihtaa, jos yläpohjasta halutaan kauttaaltaan tasaisesti eristävä.

3.6 Korjaustapa

3.6.1 Katon rakenteiden korjaus

Itse katon rakenteet ja kattotuolit eivät tarvitse toimenpiteitä. Ylimääräiset katon korkoerot voidaan poistaa peltikatteen uusimisen yhteydessä (kuva3).



Kuva 3. Katon korkoero (Antti Hirvonen)

Koulun konesaumattupeltikate täytyy uusida, huonosta kunnosta johtuen. Rakennuksen suojelun takia katteeksi täytyy valita konesaumattupeltikate. Vesikourut on uusittava peltikatteen uusimisen yhteydessä.

Kattorakenteeseen on syytä lisätä aluskate. Se on tarpeellinen, jotta katon saumoista tuleva vesi sekä vesikatteen alapintaan muodostuva kondenssi- vesi poistuisi yläpohjasta oikeaoppisesti ulkoseinälinjan toiselle puolelle. Aluskatteen on oltava vesihöyryä läpäisevä materiaalia.

Aluskatteen voi toteuttaa kahdella tavalla, vapaasti asennettavalla tai aluskermillä. Aluskatteen valinta riippuu, onko vesikatteen alapuolella aluslaudoitusta vai ei. Käyttäessä vapaasti asennettava aluskatetta täytyy kattotuolien päälle asentaa tuuletusrimat ja ruoteet, jotta ilma vaihtuisi myös vesikatteen ja aluskatteen välissä. Jos vesikate asennetaan laudoituksen päälle ja aluskatteena käytetään bitumikermiä, voidaan kate kiinnittää suoraan bitumikerroksen päälle ilman vesikatteen ja aluskatteen tuuletusväliä. (Suomen kattoliitto, rakentamismääräyskokoelma C2)

3.6.2 Ikkunaelementin korjaus

Varmin tapa saada yläpohjasta nykysuositusten mukaisesti eristetty ja yhtenäinen on poistaa ikkunaelementit (kuva4) ja korvata ne muun yläpohjan kanssa vastaavalla rakenteella.



Kuva 4. Ikkunaelementit (Antti Hirvonen)

Arkkitehtuurinen ulkonäkö voidaan säilyttää tiputtamalla elementit samaan korkoon alakaton kanssa. Valaistus lasinläpi voidaan hoitaa kohdevaloilla, kuten nykyisessäkin ratkaisussa.

Toinen vaihtoehto on korvata vanhat lasit uusilla eristävimmillä lasilla. Silloin lasien välissä täytyy käyttää jalokaasuja. Laselementeillä on lähes mahdotonta päästä yläpohjan vaadittavaan $0,09 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ U-arvoon. (motiva)

4 ONGELMAT JA NIIDEN AIHEUTTAJAT

Vuonna 2012 ikkunoiden vaihtotyön jälkeen koulussa alkoi esiintyä ongelmia. Talven ja kevään aikana yläkerran ala-kattoihin ilmestyy kosteuden muodostamia läikkiä (kuva5).



Kuva 5. Kosteutta katossa (Antti Hirvonen)

Lisäksi katto jäättyi ulkopuolelta ja räystäälle muodostui jääpuikkoja. Ullakon puurakenteissa on näkyvissä kosteuden aiheuttamia tummentumia sekä valkoista ”härmää”(kuva6).



Kuva 6. Ullakon puurakenteita (Antti Hirvonen)

Rakenteiden kosteusongelmat ovat tuoreita vuodelta 2012 ja osa niistä on päässyt kuivumaan. Pidemmällä aikavälillä katon vuodoista ja yläpohjassa esiintyvistä kosteuksista kehittyy sisäilmaongelmia. Sisäilmaongelmat vaarantavat rakennuksien käyttäjien terveyden ja pahimmassa tapauksessa aiheuttavat pitkiä poissaoloja ja loppuelämän sairastumisia. Näistä seuraa mittavia kustannuksia yhteiskunnalle, ihmisille loppuelämän sairauksia, joita ei voi rahassa mitata. (Työterveyslaitos, eduskunta)

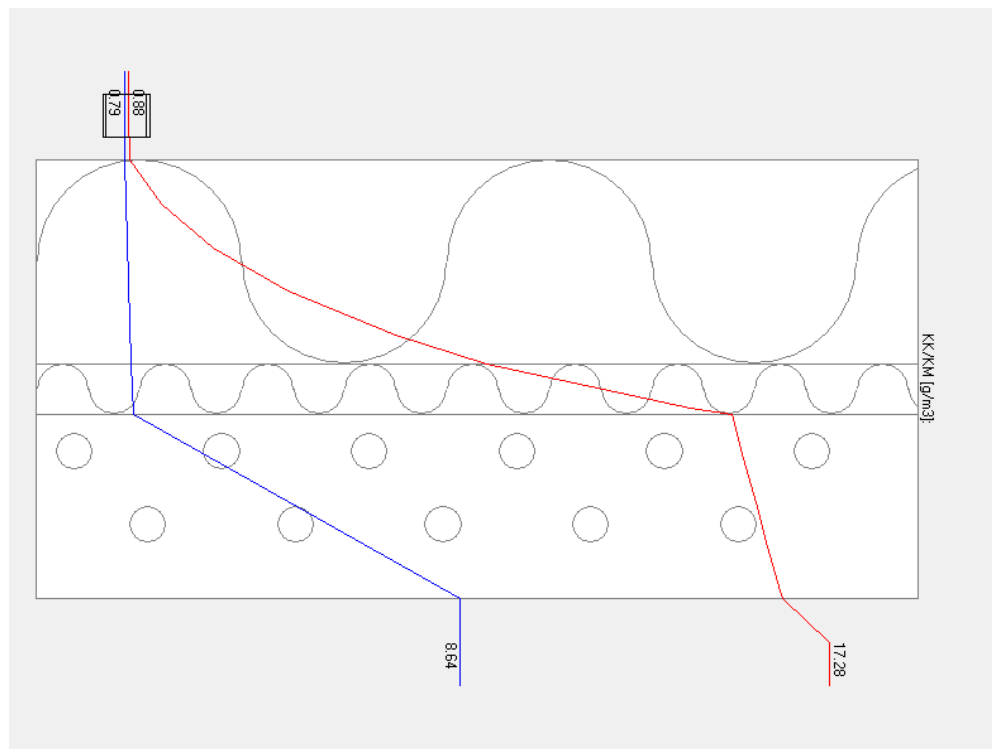
4.1 Ongelmien aiheuttajat

Rakennusfysikaalisesti yläpohjaan vaikuttaa kaikki rakennuksen tiiveyteen, lämmöneristävyyteen ja ilmanvaihtuvuuteen liittyvät asiat. Peruskorjauksen aikana puututtiin näihin kaikkiin edellä mainittuihin kolmeen tekijään. Rakennuksessa esiintyvät ongelmat viittaavat yläpohjan puutteelliseen ilmanvaihtoon, lämpövuotoihin ja ilmavuotoihin.

Luonnon ilmiöt eivät selitä rakenteissa ilmenneitä ongelmia, sillä vuoden 2012 talvi oli normaali. Keskilämpötila oli -6 ja -8 Celsius pakkasasteen välillä, joka on tyypillinen talvi Varkaudessa. Myöskin lumen määrä oli normaali. (Ilmatieteenlaitos)

4.2 Rakenteellinen toimivuuden tarkastelu

Dof-lämpö ohjelmalla voidaan tarkastella rakenteiden teoreettista kosteusteknistä toimivuutta. Mittausolosuhteina käytettiin yläpohjan kosteuden muodostumiselle otollisimpia olosuhteita, eli talven kolme kylmintä päivää. Kuvassa on tutkittu 1995 remontin jälkeistä yläpohjan toimintaa kosteusteknisesti (kuva7).



Kuva 7. Yläpohjan kosteustekninen toimivuus(Dof-lämpö)

Tutkinnassa sisällä on +20 Celsiusastetta, kosteusprosentti 50 %. Ulkoilman olosuhteet ovat -20 Celsiusastetta ja kosteus 90 % (liite5). Rakenteessa näkyy punaisella viivalla kuinka paljon kosteutta mahtuu grammoina kuu-tioon kyseisessä ilmanlämpötilassa. Sinisellä viivalla on kuvattu kuinka paljon kosteutta on rakenteen eri kohdissa. Rakenne on toimiva, joten kosteus-ongelmat eivät johdu virheellisestä yläpohja rakenteesta. (Dof-lämpö-ohjelma)

4.2.1 Lasielementit

Dof-lämpö-ohjelmalla laskettuna rakenteen ei pitäisi toimia, kun ulkona on -20 Celsiusasteen pakkanen ja sisällä + 20 Celsiusastetta. Vettä pitäisi kondensoitua ulomman lasin sisäpintaan. Ilmiöitä ei ole kuitenkaan esiintynyt. Tämä voi johtua monesta syystä. Lasi toimii itsessään höyrynsulkuna ja estää sisätilasta vesihöyryn siirtymisen välitilaan ja siitä ylemmän lasipintaan. Lasiin kohdistetut kohdevalot saattavat lämmittää ulommais-laseja niin, ettei lasin pinta ole tarpeeksi kylmä veden kondensoitumiselle (kuva8).



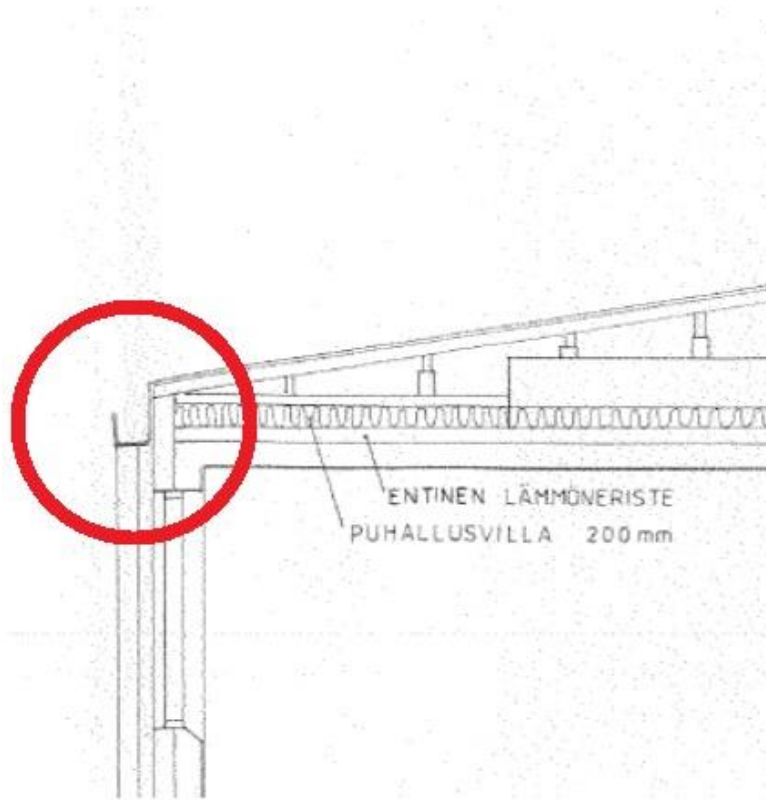
Kuva 8. Lasielementtien valaistus (Antti Hirvonen)

Peltikate estää ylimmän ikkunan avaruuden taustasäteilystä johtuvan viilen-tymisen. Lasien välissä voi olla niin hyvä ilmankierto, että se kuivattaa ra-kennetta. Rakennuksessa vallitseva 10 Pascalin alipaine auttaa myös raken-netta toimimaan. Alipaineisessa talossa lämmin ilma ei tunkeudu rakentei-den kylmiin osiin, eikä näin ollen kondensoi vettä kylmiin rakenteisiin. (Ilmatieteenlaitos, http://www.skaala.com/usein_kysyttya.html)

4.2.2 Piirustuksista selviävät ongelmat

Arkkitehti- ja rakennepiirustuksista nähdään, kuinka koulun yläpohjassa on muutamia tuuletuksen kannalta toimimattomia ja riskialttiita paikkoja.

Piirustuksista näkyy kuinka lounais- ja koillispään lappeilla rakenne ratkaisu estää tuloilman pääsyn yläpohjaan räystäältä. Räystäät eivät ylitä ulkoseinäpintoja vaan loppuvat ennen niitä. Ulkoseinän päällä lepää ränni, joka liittyy yhtenäisellä rakenteella vesikatteeseen. Rakenteessa ei ole ilmarakoja yläpohjaan (kuva9).



Kuva 9. Räystäään ilmanvaihtuvuudeltaan toimimaton rakenneratkaisu (Varkauden rakennusvalvonta)

Uusien ilmanvaihtokonehuoneiden seinät estävät yläpohjan painovoimaisen vaihtuvuuden. Suunnitelmissa tämä on ratkaistu kierrättämällä ilma IV-konehuoneen seinä-, kattorakenteiden ja räystäspellin kautta. Tämä rakenne voi olla riskialtis, pitkästä tuuletusmatkasta ja monesta tuuletusvälin kulkemasta johtuen. Vesikatekuvasta voidaan laskea tuuletusmatkoja, jotka osoittautuivat liian pitkiksi luoteisella, koillisella sekä lounaisella lappeella. Harjalle ei ole suunniteltu poistoilmaa.

4.2.3 Paikalla todetut ongelmien aiheuttajat

Kaakkois- ja luoteispään räystäiden tuuletusaukot ovat tukkiutuneet lähes kokonaan lisäeriste puhallusvillasta (kuva 10). Uudet putket ja kanavat estävät monin paikoin rakenteen esteettömän tuuletuksen.

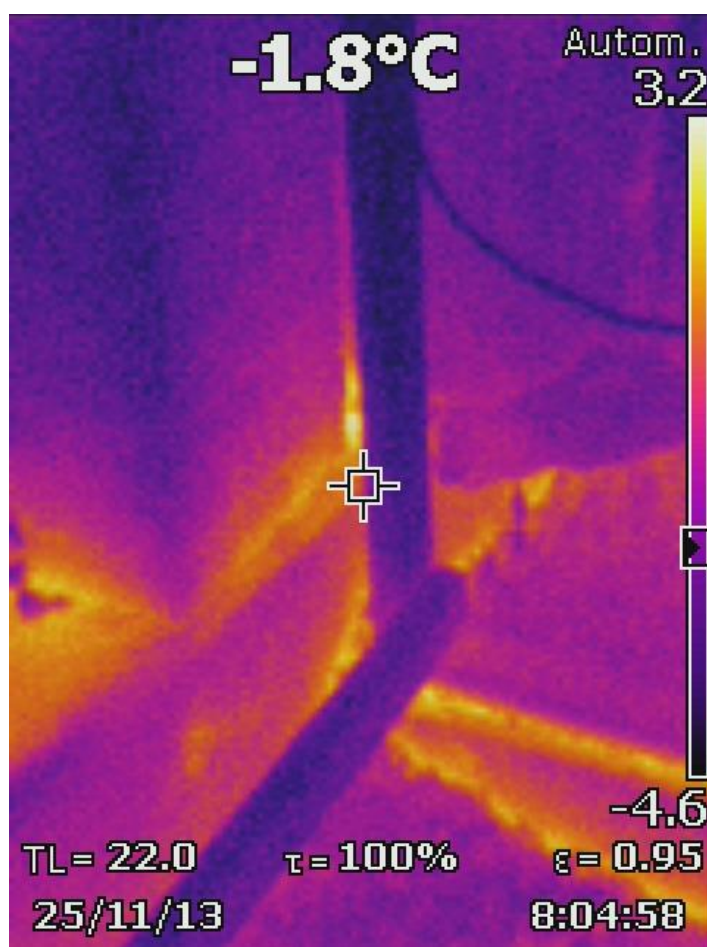


Kuva 10. Lisäeristevilla on tukkinut räystäiden tuuletusaukot lähes kokonaan (Antti Hirvonen)

Suurin osa uusista talotekniikan pystyvedoista vietiin vanhoissa hormistoissa. Uudet ja vanhat läpiviennit tiivistettiin huolella. Läpiviennit lisäävät aina lämpö- ja ilmavuotojen riskejä. Yläpohjan betoni toimii höyrinsulkuna. Resursseja tai laitteita ei ollut selvittämään rakenteiden ilmatiiveyttä ilmatiiveyskokeella yläpohjalle eikä IV-konehuoneiden seinille. Yläpohjan ja IV-konehuoneiden ilma- ja lämpövuodot tarkastettiin kuvaamalla lämpökameralla yläpohjien läpiviennit, liitoskohdat ja konehuoneiden seinät. Kuvauksissa huomattiin muutamia IV-kanavien vuotoja, jotka johtuivat eristeen puuttumisesta (liite2). Osa yläpohjan betonipalkeista oli eristämättä. Ne toimivat kylmäsilta ja aiheuttavat yläpohjaan lisälämpövuotoa (kuva 11 ja 12), joka voi kondensoitua yläpohjanrakenteisiin kosteutena. Muita lämpövuotoja ei esiintynyt (liite3).



Kuva 11. Lämpökuvauspaikka (Antti Hirvonen)



Kuva 12. Lämpövuoto (Antti Hirvonen)

Lämpötila kuvauksen aikana sisällä oli + 20 Celsiusta ja ulkona -4 Celsiusta. Lämpökuvauksessa käytettiin Fluke Ti 110 lämpökameraa.

Yläpohjan puuosissa näkyy kosteuden aiheuttamia jälkiä. Kosteusmittarilla mitattuna eristeet ja muut rakenne osat olivat kuivat. Mittarin lukemat vaihtelivat kohteittain 30- 40 lukeman välillä (liite 4). Kosteusmittauksessa käytettiin Gan Hyndromette UNI 2 mittaria.

4.3 Yhteenveto

Dof-lämpö-ohjelmalla on todettu rakenteen olevan toimiva ja lämpökameralla, että eristeet ovat kunnossa, luukunottamatta eristämättömiä betonipalkkeja, sekä muutamia IV-putkien pieniä lämpövuotoja. Ongelmien suurin aiheuttaja on yläpohjan olematon ilmanvaihto.

Remonteista johtuvien muutosten takia lämpökuorman lisääntyminen yläpohjassa ja ilmanvaihtuvuuden osittainen tukkiminen aiheuttavat kylmällä ilmalla ongelmia. Vaikka lämpöeristystä lisättiin, ei lämpökuorma pienentynyt tarpeeksi. Vuoden 2012 ikkunaremontti oli yläpohjan kosteustekniseltä toimivuudeltaan käännekohta. Lämpökuorma on noussut niin isoksi, ettei puutteellinen ilmanvaihto tuuleta yläpohjaan muodostunutta kosteutta pois.

Lämmin ilma sitoo huomattavasti enemmän kosteutta kuin kylmä ilma (taulukko 1).

Taulukko 1. Lämpö ja kosteus

Taulukko 9. Ilman ominaisuuksia normaali ilmakehän paineessa 101325 Pa

t °C	v _k g/m ³	p _k Pa	t °C	v _k g/m ³	p _k Pa	t °C	v _k g/m ³	p _k Pa
-20	0,87	102	14	12,10	1602	48	75,67	11207
-19	0,95	111	15	12,86	1708	49	79,33	11786
-18	1,04	122	16	13,65	1820	50	83,14	12390
-17	1,14	135	17	14,49	1939	51	87,10	13020
-16	1,25	149	18	15,37	2064	52	91,21	13677
-15	1,38	164	19	16,30	2197	53	95,48	14362
-14	1,52	181	20	17,28	2337	54	99,92	15075
-13	1,67	200	21	18,31	2484	55	104,5	15818
-12	1,83	221	22	19,40	2640	56	109,3	16592
-11	2,01	242	23	20,54	2805	57	114,2	17397
-10	2,20	266	24	21,74	2979	58	119,4	18234
-9	2,40	292	25	23,00	3162	59	124,7	19105
-8	2,61	319	26	24,32	3355	60	130,2	20010
-7	2,84	348	27	25,71	3559	61	135,9	20951
-6	3,08	379	28	27,17	3773	62	141,9	21928
-5	3,33	412	29	28,70	3999	63	143,0	22943
-4	3,60	447	30	30,31	4237	64	154,3	23997
-3	3,89	485	31	31,99	4487	65	160,9	25090
-2	4,19	524	32	33,75	4750	66	167,7	26224
-1	4,51	566	33	35,60	5027	67	174,7	27401
0	4,85	611	34	37,54	5317	68	181,9	28620
1	5,21	658	35	39,56	5622	69	189,4	29884
2	5,58	708	36	41,68	5940	70	197,1	31194
3	5,98	762	37	43,89	6278	71	205,1	32551
4	6,40	818	38	46,21	6631	72	213,3	33956
5	6,84	878	39	48,63	7000	73	221,8	35410
6	7,31	941	40	51,16	7388	74	230,6	36915
7	7,80	1008	41	53,79	7793	75	239,6	38471
8	8,32	1079	42	56,54	8218	76	248,9	40082
9	8,87	1154	43	59,41	8663	77	258,5	41747
10	9,45	1234	44	62,40	9127	78	268,4	43468
11	10,06	1318	45	65,52	9614	79	278,6	45247
12	10,71	1408	46	68,77	10122	80	289,1	47084
13	11,38	1502	47	72,15	10653			

Kun lämmin ilma ei tuuletetu pois ullakolta, se kondensoituu yläpohjan kylmiin rakenteisiin. Talvisin lumi toimii katolla lisäeristeen tavoin ja nostaa yläpohjan lämpötilaa lisää puutteellisen ilmanvaihdot takia. Lämmennyt ilma sulattaa lunta. Sulanut vesi jäätyy räystäälle muodostaen jääpuikkoja ja vesikatteelle jääpatoja. Lumen sulaessa vesi patoutuu jäämuodostelmiin ja valuu konesaumattujen peltikattojen saumoista yläpohjaan, puuttuvan aluskatteen johdosta. (Lämpö ja kosteus Rakennusfysiikka, rakennustieto, Dick Björkholtz)

5 LÄMMÖNERISTYS

5.1 Määräykset

Ympäristöministeriö on laatinut uusille rakenteille lämmönläpäisykerroin vaatimukset (kuva 13).

Vaatimukset rakennuksen vaippaosien lämmönläpäisykerroimille 1.1. 2010 alkaen		
rakenne	lämmin tila W/m²K	puolilämmin tila W/m²K
seinä	0,17	0,26
hirsiseinä, vähimmäispaksuus 180 mm	0,40	0,60
yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09	0,14
ryömintätilaan rajoittuva alapohja, jossa tuuletusaukkojen määrä enintään 8 % alapohjan pinta-alasta	0,17	0,26
maata vastaan oleva rakennusosa	0,16	0,24
ikkuna, kattoikkuna, ovi	1,0	1,4

Kuva 13. (RT RakMK-21099, Suomen rakennusmääräyskokoelma C4lämmöneristys)

5.2 Nykyinen lämmöneriste

Puhallusvillan ansioista yläpohjan eristävyys parani vuoden 1995 remon-tissa lähes kaksinkertaiseksi. U-arvo on lisälämpöeristämisen jälkeen 0,184W/(K•m²) kun se ennen eristämistä oli 0,34 W/(K•m²). Dof-lämpö-ohjelmalla tarkistettiin oliko yläpohja teknisesti toimiva ennen lisäeristä-mistä ja sen jälkeen. Rakenteet ovat toimivia kummassakin tapauksessa. Kohdetta tarkasteltiin vaatimissa olosuhteissa eli talven keskiarvoisten kol-mena kylmimpänä päivänä. Ohjelmalla laskettuna rakenteet ovat rakenteel-lisesti toimivia ennen lisäeristämistä ja sen jälkeen (liite5).

Kuoppakankaan koulun yläpohjan u-arvo on nykyisillä rakenteillaan 0,185W/(K•m²), kun eriste paksuus on 300mm. 1.1.2010 alkaen yläpohja rakenteiden u-arvoksi eli lämmönläpäisykertoimeksi on vaadittu 0,09 W/(K•m²).

(RT RakMK-21099, Suomen rakennusmääräyskokoelma C4)

5.2.1 U-arvon laskeminen

U-arvon lasketaan kaavalla 1 ja materiaalin lämmönvastus lasketaan kaavalla 2.

$$U = \frac{1}{R} \quad (1)$$

$$R = \frac{d}{\lambda_n} \quad (2)$$

jossa

d= materiaalin paksuus

λ_n = normaalin lämmönjohtavuus

R= lämmönvastus

U= lämmönläpäisykerroin

RT= kaikkien rakenneosin sekä sisä- ja ulkopinnan lämmönvastukset laskettuna yhteen

Kaavat ovat toimivia kun ainesosat ovat tasapaksuja, tasa-aineisia ja lämpö siirtyy rakenteeseen nähden kohtisuoraan. Näillä kaavoilla laskettaessa koko rakennetta eivät vierekkäisten rakenneosien aineiden lämmönjohtavuudet saa poiketa toisistaan yli viisin kertaisesti. Laskuissa on aina käytettävä joko CE merkinnällä olevien aineiden EN-standardien mukaisia lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvoja tai muuten rakennusosalla hyväksyttyjä arvoja, kuten valmistajan antamia arvoja.

(RT RakMK-21099, Suomen rakennusmääräyskokoelma C4)

Seuraavissa taulukoissa on laskettu nykyisen koulun yläpohjan u-arvo (taulukko2), nykyajan vaatimusten mukaisesti kaksi eri lisäeriste vaihtoehtoa ja yksi uusilla eristellä esitetty vaihtoehto. Laskennassa on käytetty alkupe-
räisten materiaalien osalta EN-standardien mukaisia suunnittelu-arvoja (IsoverOy)

Taulukko 2. Nykyisen rakenteen U-arvo (eriste paksuus 0,3m) (Antti Hirvonen)

YLÄPOHJAN U-ARVO LASKU NYKYISELLÄ ERISTEELLÄ				
materiaali	d (m)	λ_n (W/mK)	R(m2K/W)	U-ARVO
sisäpinnan pintavastus			0,130	$U=1/(R)=$ $1/5,427=\underline{0,184}$
betoni	0,18	1,7	0,106	
mineraalivillalevy	0,1	0,055	1,818	
puhallusvuorivilla	0,2	0,06	3,333	
ulkopinnan pintavastus			0,040	
(RT)			5,427	

Yläpuolella olevasta taulukosta näkee että, nykyisen yläpohjan u-arvo on lähes kaksinkertainen verrattuna tämän päivän vaatimuksiin.

Suljimme yläpohjan ja IV-konehuoneiden lämpövuodot ja eristevirheet pois kuvaamalla lämpökameralla yläpohjien läpiviennit, liitoskohdat ja konehuoneiden seinät. Kuvista näkee, ettei yläpohjassa ole lämpövuotoja, lukuun ottamatta paikkoja joista eriste on jäänyt laittamatta (liite 2). Nämä kohdat ovat helppo korjata, koska rakenteet ovat näkyvillä.

5.2.2 Lasielementtien u-arvo

Lasielementtien rakenteiden ominaisuudet ole tiedossa, joten u-arvoa ei voida tarkasti määrittää. Rakennusmääräyskokoelmasta löytyvillä arvoilla rakenteen u-arvo on $0,63 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. Dof-lämpö-ohjelmalla laskettuna rakenteen ei pitäisi toimia, kun ulkona on -20 Celsiusasteen pakkanen ja sisällä + 20 Celsiusastetta. Vettä pitäisi kondensoitua ulomman lasin sisäpintaan. Ilmiöitä ei ole kuitenkaan esiintynyt.

5.3 Tarkastelu

Tilaajan toiveena oli saada yläpohjasta toimiva ja nykyaikaisesti eristetty. Suojelun takia kohde on haastava. Kattoa on korotettava, jos lisälämpöeriste halutaan asentaa tukkimatta ilmanvaihtoa, joka on nyt jo puutteellinen.

Nykyisen yläpohjan eristeet ovat 100 millimetriä paksu mineraalivillalevy ja 200 millimetriä paksu mineraalipuhallusvilla kerros. Mineraalivillojen päälle ei voi laittaa tiiviimpiä lämmöneristeitä, kuten orgaanisia eristeitä. Esimerkkinä orgaanisista eristeistä on lasivilla. Lasivilla on mineraalivillaan tiiviimpää ja aiheuttaa näin ollen kosteusriskejä. Ainoa vaihtoehto orgaanisilla villoilla lisäeristämiseen on tässä tapauksessa asentaa lisäeriste lämpimälle puolelle. (selluvilla.net, rakentaja.fi, rakennustieto.fi.)

Yleisesti ottaen erivilloja ei pitäisi sekoittaa keskenään. Villojen täytyisi olla samaa materiaalia, jotta välttyttäisiin kosteusteknisiltä riskeiltä. Selluvilla on ainoita villoja, jonka voi asentaa yläpohjassa minkä eristeen päälle tahansa. Tämän mahdollistavat villan kosteustekniset ominaisuudet. Ne ovat lähes samat kuin puulla, johtuen sen pääraaka-aineesta puukuidusta. Selluvilla pystyy sitomaan ja luovuttamaan kosteutta, eikä sen lämmöneristävyys heikkene kosteanakaan. Selluvillalla lisäeristäessä ei tarvitsisi höyrinsulkua johtuen sen kyvystä sitoa ja luovuttaa kosteutta. (selluvilla.net, rakentaja.fi, rakennustieto.fi.)

Sisäpuolisessa eristämisessä pitää huomioida, että se laskee yläpohjan rakenteiden lämpötilaa. Se lisää kosteusongelmia riskejä. Vesihöyryn tiivistymisen riski kylmiin yläpohjarakenteisiin kasvaa. (Yttertak & Balkonger.Skador på hus, vad gör man? Sven-Erik Bjerking, Bo Bjerking. Byggforskningsrådet. 1991)

5.3.1 Lisäeristäminen sisäpuolelta

Nykyiset lämpöeristeet täyttävät räystäältä jo kokoyläpohjan tilan, joten sitä ei voi lisäeristää enempää entisten yläpuolisten eristeiden päälle. Ainoaksi vaihtoehdoksi on laskea lisäeristys yläpohjan lämpimälle puolelle.

Lisäämällä yläkerran sisäkattoon 150 millimetrin paksua Isoverin eristelevyä KL-33 päästäisiin nykyajan eristemitoitusten mukaisiin suunnitteluarvoihin (taulukko3).

Taulukko 3. Lisäeristys eristelevyllä (Antti Hirvonen)

YLÄPOHJAN U-ARVO LASKU LISÄERISTEELLÄ ISOVER ERISTELEVY KL-33				
materiaali	d (m)	λ n (W/mK)	R(m2K/W)	U-ARVO
sisäpinnan pintavastus			0,130	$U=1/(R)=$ $1/11,488=0,087$
betoni	0,18	1,7	0,106	
mineraalivillalevy	0,1	0,055	1,818	
puhallusvuorivilla	0,2	0,06	3,333	
isover kl-33	0,2	0,033	6,061	
ulkopinnan pintavastus			0,040	
(RT)			11,488	

Dof-lämpö-ohjelmalla laskettuna tätä tapaa ei voida toteuttaa. Rakenne on fysikaalisesti toimimaton.

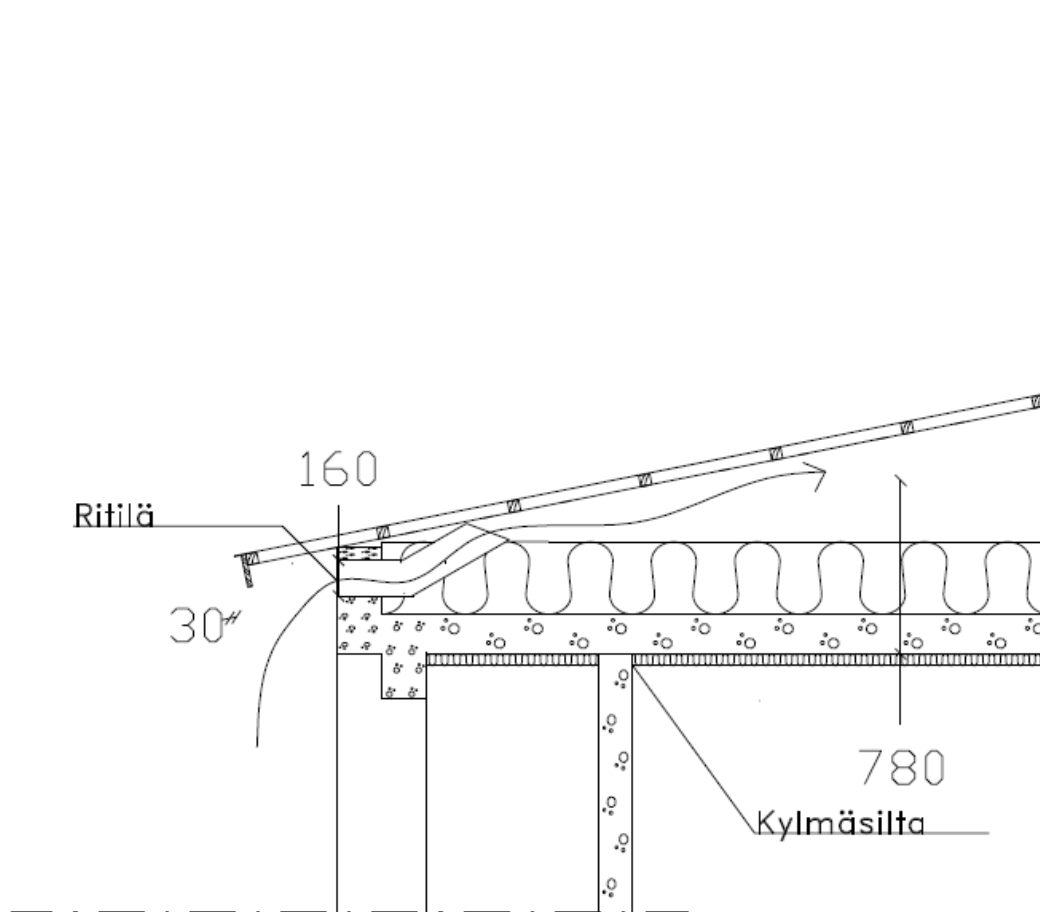
Lisäeriste ratkaisu ei ole kosteusteknisesti toimiva. Rakenteeseen muodostuu kastepiste betonivalun sisäpintaan. Rakenteen toimivuus on tarkastettu Dof-lämpö-ohjelmalla. Mitoitus olosuhteina on käytetty talven kolmea kylmintä päivää (liite7).

5.3.2 Lämpöeristeiden korvaus ja lisäeristäminen sisäpuolelta

On olemassa myös eristearvoiltaan parempia eristeitä kuin Kl-33 levy. Vaihtoehtona olisi korvata kaikki villat isoverin eristävämmällä eristelevyllä KL-32. Tällä vaihtoehdolla kokonaiseriste paksuudeksi tulee 350. Tämä määrä Kl-32 eristelevyä ei mahtuisi yläpohjaan puristumatta kasaan. Kasaan puristuminen heikentää villan eristysominaisuuksia ja käytännössä asentaminen olisi mahdotonta.

KL-32 eristelevyä voi asentaa 50 millia rakenteen lämpimälle puolelle, jotta se olisi vielä toimiva. Ulkopuolelle jää 300 mm eristettä. Nykyisellä rakenteella eriste paksuus tukkii vielä räystäiden tuuletusaukot, mutta olisi kosteusteknisesti toimiva. Rakenteen toimivuus laskettiin talven kolmen kylmimmän päivän mukaan (liite8). (Dof-lämpö-ohjelma)

Sisäpuolen eristeestä ei saa yhtenäistä, seinien kohdalle jää kylmäsil-
lat(kuva14). Tämä tekee rakenteesta entistä epävarmemman, eikä eristeellä
päästä kaikissa kohdilla haluttuun $0,9 \text{ W/(K}\cdot\text{m}^2)$ u-arvoon. (Isover)



Kuva 14. Kylmäsilan muodostuminen (Antti Hirvonen)

5.3.3 Lämpöeristäminen tyhjiöeristelevyillä

Markkinoilla on tarjolla myös tyhjiöeristelevyjä, jotka asennetaan sisäkat-
toon. Levyjen lämmöneristävyys on $0,007 \text{ W/Mk}$. Näitä levyjä käyttämällä
ullakko tilan eristeeksi jäisi 250 mm paksu KL-32 eristekerros. Sisäpuolelle
tulisi yksi 30 mm paksu tyhjiöeristelevy. Tällä vaihtoehdolla räystäiden tuu-
letusaukot jäisivät vapaiksi. Dof-lämpö-ohjelmalla laskettaessa selviää, että
vesihöyry kondensoituisi heti betonin alapintaan (liite9). Rakenne ei siis ole
toimiva eikä sitä voi tästä syystä voida toteuttaa. (Isover Oy, Dof-lämpö-oh-
jelma)

5.3.4 Lisäeristys puhallusvillalla kattoa korottamalla

Kattoa korottamalla ullakkotila riittäisi lisäeristykseen ja samalla räystäiden
tuuletusaukot saataisiin taas vapaiksi. Nopein tapa lisäeristykselle olisi pu-
haltaa uutta sellupuhallusvillaa 300 mm (taulukko4) entisten eristeiden
pääle. Vanhojen villojen päälle ei käy muut kuin selluvillaeriste. (Isover
Oy, Dof-lämpö-ohjelma, selluvilla.net)

Taulukko 4. U-arvo puhallusvillalla lisäeristeellä (Antti Hirvonen)

YLÄPOHJAN U-ARVO LASKU LISÄERISTEELLÄ PUHALLUSVILLA					
materiaali	d (m)	λ n (W/mK)	R(m2K/W)	U-ARVO	
sisäpinnan pintavastus			0,130	$U=1/(R)=$ $1/12,744=$ 0,078	
betoni	0,18	1,7	0,106		
mineraalivillalevy	0,1	0,055	1,818		
puhallusvuorivilla	0,2	0,06	3,333		
sellupuhallusvilla	0,3	0,041	7,317		
ulkopinnan pintavastus			0,040		
(RT)			12,744		

Lisäeristys puhallusvillalla on toimiva rakenne kosteusteknisesti (liite10) ja se saavuttaa vaatimusten tasoisen u-arvon.

5.3.5 Eristeiden vaihto

Toinen vaihtoehto eristämisessä olisi poistaa kaikki entisen eristeet. Ne kannattaisi vaihtaa eristävämpiin Isoveri KL-32 eristelevyihin. Levyjä tarvitsi 350 mm, jotta saavutettaisiin u-arvoksi 0,9 W/(K•m²) (taulukko5). (Isover Oy, Dof-lämpöohjelma)

Taulukko 5. Villojen vaihto (Antti Hirvonen)

YLÄPOHJAN U-ARVO LASKU ISOVER KL-32					
materiaali	d (m)	λ n (W/mK)	R(m2K/W)	U-ARVO	
sisäpinnan pintavastus			0,130	$U=1/(R)=$ $1/11,213=$ 0,089	
betoni	0,18	1,7	0,106		
Isover KL-32	0,35	0,032	10,938		
ulkopinnan pintavastus			0,040		
(RT)			11,213		

Lasikuituvillalla eristettäessä entisiä kosteutta sitovia villoja ei voi jättää lasivillaeristeen alle. Kaikki villat on korvattava lasivillalla, jotta ominaisuudet ovat samat eikä kosteutta muodostu villojen ominaisuuksien eroavaisuuksien takia. Vaihdettaessa kaikki villat 350 millimetriseen Isover KL-32 villoitukseen saadaan kosteusteknisesti toimiva rakenne (liite11).

5.4 Korjaustapa

Riskien johdosta, on syytä valita korjaustavaksi lisäeristys sellupuhallusvillalla, joka on riskitön. Toinen vaihtoehto olisi kaikkien eristeiden vaihto, mutta se tulee kustannuksilta kalliimmaksi. Eristeiden vaihto ei ole sen arvoista, sillä kattoa joutuu joka tapauksessa korottamaan. Uusi lasivillaeriste ole ominaisuuksiltaan verrattavissa selluvillaan. Villa olisi herkkä ilmavuodoilla ja kosteudelle.

Eristämättömät betonipalkit täytyy eristää muuta yläpohjaa vastaavaksi. Esimerkiksi käyttämällä uretaanieristelevyjä ja asentamalla sen päälle paloeristevilla, jotta paloluokat säilyvät ullakolla. IV-kanavien eristevillat on paikattava, niiltä kohdilta josta eriste puuttuu (taloon.com).

Vanhaa taloa remontoidessa kannattaa käyttää selluvillaa. Se ei ole niin herkkä mahdollisille ilmavuotojen tuomalle kosteudelle. (selluvilla.net, rakentaja.fi, rakennustieto.fi.)

6 ILMANVAIHTO

Yläpohjan tuuleutusta koskevat määräyksiä käsitellään rakentamismääräyskokoelmassa C2. Tähän kappaleeseen on kerätty työhön keskeisesti vaikuttavat määräykset. (Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto, Suomen rakentamismääräyskokoelma KOSTEUS, Määräykset ja ohjeet 1998)

6.1 Määräykset

Yläpohjan eri kerrokset ja katon tuuletus on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei kattoon kerry vesihöyryn diffuusion tai ilmavirtausten vuoksi haitallisessa määrin kosteutta ja että rakenteisiin mahdollisesti pääsevä kosteus voi kuivua. (C2/ 6.2.1)

Kylmien ullakkotilojen ja muiden tuuletustilojen riittävä tuuletus voi tapahtua tilaan ulkopuolelta johtavien tuuletusaukkojen, rakojen tai venttiilien kautta. Näiden yhteenlasketun pinta-alan tulisi olla vähintään 4 promillea yläpohjan pinta-alasta. Tilaan johtavat aukot, raot ja venttiilit sijoitetaan siten, että koko yläpohja tuulettuu. Pientaloissa riittävät yleensä 20 mm rako räystäillä ja 200 x 200 mm tuuletussäleiköt päätykolmioissa. (C2/ 6.2.1.3)

6.2 Nykyinen yläpohjan tuuletus

Nykyinen tuuletus on olematon. Tuuletusaukot räystäältä ovat tukkiutuneet lähes poikkeuksetta. Osa räystäään rakenneratkaisuista estää tuloilman pääsyn yläpohjaan.

Yläpohjassa on useita kohtia, joissa räystäältä harjalle on yli 10 metriä matkaa. Remontissa rakennetut uudet IV-konehuoneet ja putkistot estävät ilmanvaihtuvuutta.

Harjalle ei ole tehty varsinaisia tuuletusaukkoja. IV-konehuoneissa on toimivat koneelliset ilmanvaihdot.

6.3 Tarkastelu

Tuuleutusta suunniteltaessa on otettava huomioon tuuletusvälien katkaisevat rakenteet. Näitä ovat esimerkiksi yläpohjassa sijaitsevat palokatot, IV-konehuoneet, pulpettikattojen törmäminen seinään, putkistot, jotka jakavat

ja rajoittavat yläpohjan tuulettumista. Nämä kohdat vaativat alipaineistuksen. Alipainetuulettimen joutuu asentamaan, jos harjapituus ylittää yli 15 metriä. Alipainetuuletinputket on asennettava mahdollisimman lähelle harjaa. Yli 10 metriä pitkät lappeet, sekä aumakattojen päädyt vaativat myös erikoistoimenpiteitä, joita ovat vapaan tuuletustilan suurentaminen, alipainetuulettimet tai harjatuuletus.

Ilmanvaihtokonehuoneita ei tarvitse mitoittaa, koska niihin on järjestetty toimiva koneellinen ilmanvaihto. (Suomen kattoliitto, Varkauden rakennusvalvonta, Rakentamismääräyskokoelma C2)

6.3.1 Tuuletuksen mitoittaminen

Yläpohjan riittävä painovoimainen tuuletus saavutetaan, kun tuuletusaukkojen ja rakojen yhteenlaskettu pinta-ala on 4 promillea yläpohjan pinta-alasta. 2 promillea on tuloaukkoja ja 2 promillea poistoaukkoja. Mitoituksessa ei voi ottaa huomioon harjakappaleita, koska talvi-aikaan lumi peittää harjankappaleiden aukot. Tuulen aiheuttamia painevaihteluja ei oteta huomioon. Pien taloissa on katon räystäällä sijaitsevien tulo-aukkojen oltava vähintään 20mm.

Laskennallisesti Kuoppakankaan koulun yläpohjan pinta-ala on 2128 m². Ohjeistuksen mukaan tuuletusaukkoja ja rakojen yhteen laskettu pinta-ala täytyy olla vähintään 8,6 m², josta puolet tulo-aukkoja ja puolet poistoaukkoja. Yläpohjan sivujen pituudet on 224 metriä pyöristettynä lähinnä olevaan tasametrimäärään. Laskennallisesti räystään tulo-aukkojen korkeus pitäisi olla 19mm. Ohjeistuksen mukaan ehdoton vähimmäiskorkeus räystään tuuletusaukoilla on 20mm. Rakennuksen harjan tuuletusaukkojen pitäisi laskennallisesti olla 45mm.

Koulun katto on 1:10 kaltevuutta jyrkempi, joten se mitoitetaan jyrkkänä kattona. Etenkin jyrkissä katoissa on huolehdittava että räystäällä olevat tuuletusvälikorkeudet ovat riittävät ja poistoilma aukot sijoitetaan mahdollisimman lähelle harjaa. Tuuletusvälin minimi korkeus täytyy olla vähintään 100mm. Välin liian suureksi korottaminen ei paranna ilmanvaihtoa vaan voi aiheuttaa yläpohjaan pyörteitä. Tuulen ohjaamiseksi räystäälle on suositeltavaa asennetaan katteen suuntaiset tuulensuojalevyt. Ne ohjaavat tuulta ja suojaavat räystään luona olevaa villoitusta. Tuuletettavan alueen pituuden ylittäessä yli 10 metriä tai jonkun muun asian estäessä ilmavirtausta on syytä välille asentaa alipainepoistoputki, lisätä harjatuuletus tai korottaa tuuletettavaa tilaa. Päätykolmioissa sijaitsevien tuuletusaukkojen merkitys häviää jos harjan pituus on yli 15 metriä. Aina kun harjamitta ylittää 15 metriä tai se katkeaa esimerkiksi palokatkon on asennettava alipaineistettu 110-160 mm poistoputki. Poistoputket on asennettava harjalle tasaisin välein ja katkoista noin yhden metrin päähän, kuitenkin niin ettei harjalle jää yli 15 metrin välejä. (Suomen kattoliitto, rakentamismääräyskokoelma C2)

Yläpohjan ilmanvaihtoa suunnitellessa on hyvä ottaa huomioon millainen aluskate rakenteeseen on tulossa. Opinnäytetyön kohteessa rakennuksen vesikate on pelti- tai konesaumattupeltikate. Näiden katteiden alle voidaan

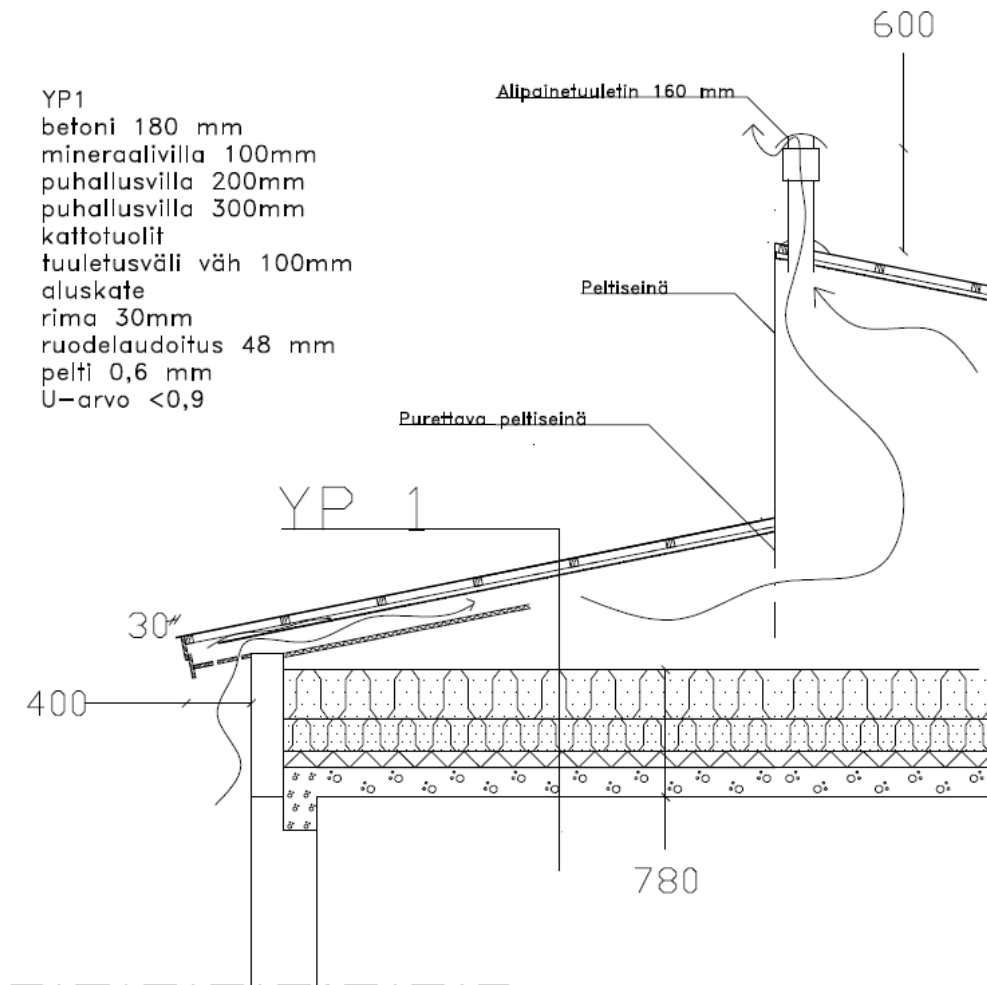
laittaa vapaasti asennettava aluskate ilman aluslaudoitusta tai aluskermi umpialuslaidoituksen päälle. Käytettäessä vapaasti asennettava aluskatetta täytyy kattotuolien päälle asentaa tuuletusrimat ja ruoteet, jotta ilma vaihtuisi myös vesikatteen ja aluskatteen välissä. Jos vesikate asennetaan laudoituksen päälle ja aluskatteena käytetään bitumikermiä, voidaan kate kiinnittää suoraan bitumikerroksen päälle ilman vesikatteen ja aluskatteen tuuletusväliä. Entisessä yläpohjassa ei ole aluskatetta. Se on tarpeellista asentaa, jotta katon saumoista tuleva vesi sekä vesikatteen alapintaan muodostuva kondenssivesi poistuisi yläpohjasta oikeaoppisesti ulkoseinänlinjan toiselle puolelle. Suositeltu tuuletusriman paksuus on 30-50 mm, mutta ehdoton minimi vahvuus on 22 mm.

(Suomen kattoliitto, rakentamismääräyskokoelma C2)

6.3.2 Yläpohjan poistoilman toiminta

Yläpohjassa on useita kohtia, joissa räystäältä harjalle on yli 10 metriä matkaa. Näitä kohteita ovat luoteissivun ja koillispään pulpettikaton lape ja aumakaton lounaispää. Normaalisti ratkaisuksi riittäisi harjatuuletuksen järjestäminen. Kohteessa harjatuuletus ei kuitenkaan riitä, koska harja pituus kasvaa yli 15 metriseksi, päätyihin ei saada tuuletusaukkoja katon muodoista johtuen ja yläpohjan tuuletusväli katkeaa harjan suunnassa palokatsoon. Ongelmakohtiin on asennettava alipaineistetut putket.

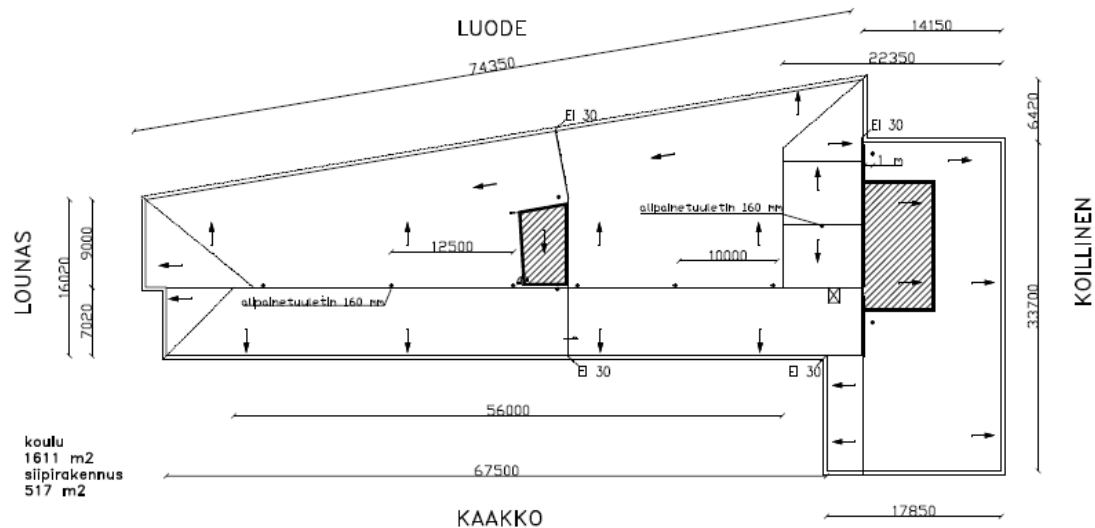
Ongelmakohdista johtuen on harjalle ja palokatkoille lisättävä alipainetuulettimet tehostamaan ilmanvaihtoa. Nykyisellä rakenteella luoteis- ja kaakkoislappeet toimivat omina osastoinaan, joten alipaineistajat pitäisi asentaa molemman lappeiden harjalle. Pienillä rakennemuutoksilla voidaan muuttaa lappeiden välistä seinää niin että se mahdollistaa kummankin lappeen yhtenäisen poistoilma järjestelmän. Purkamalla seinää saadaan tuuletusilmalle riittävä tila nousta korkeimmalle harjalle (kuva15).



Kuva 15. Seinärakenteen muutos ja havainnekuva ilmanvaihtuvuudesta (Antti Hirvonen)

6.3.3 Alipainetuulettimet

Alipainetuulettimia tulisi sijoittaa luoteislappeen harjalle kuusi kappaletta. Tuulettimet täytyy asentaa tasaisesti. Kuitenkin niin, ettei niillä ole yli 15 metrin väliä. Kaakkois- ja luoteislappeen ilmanpoisto järjestetään harja tuulettimilla. Yksi alipaineputkista on asennettava lounaispään aumakaton harjalle varmistamaan päädyn ilmanvaihtuvuus. Muita määrääviä paikkoja ovat palokatkot ja kattolapneiden muutos ennen koillispään IV-konehuonetta. Lounaispään IV-konehuoneen takia yksi palokaton viereinen poistoilmaputki on asennettava lappeen keskivaiheille. Alipainetuulettimien paikat löytyvät kuvasta (kuva16).

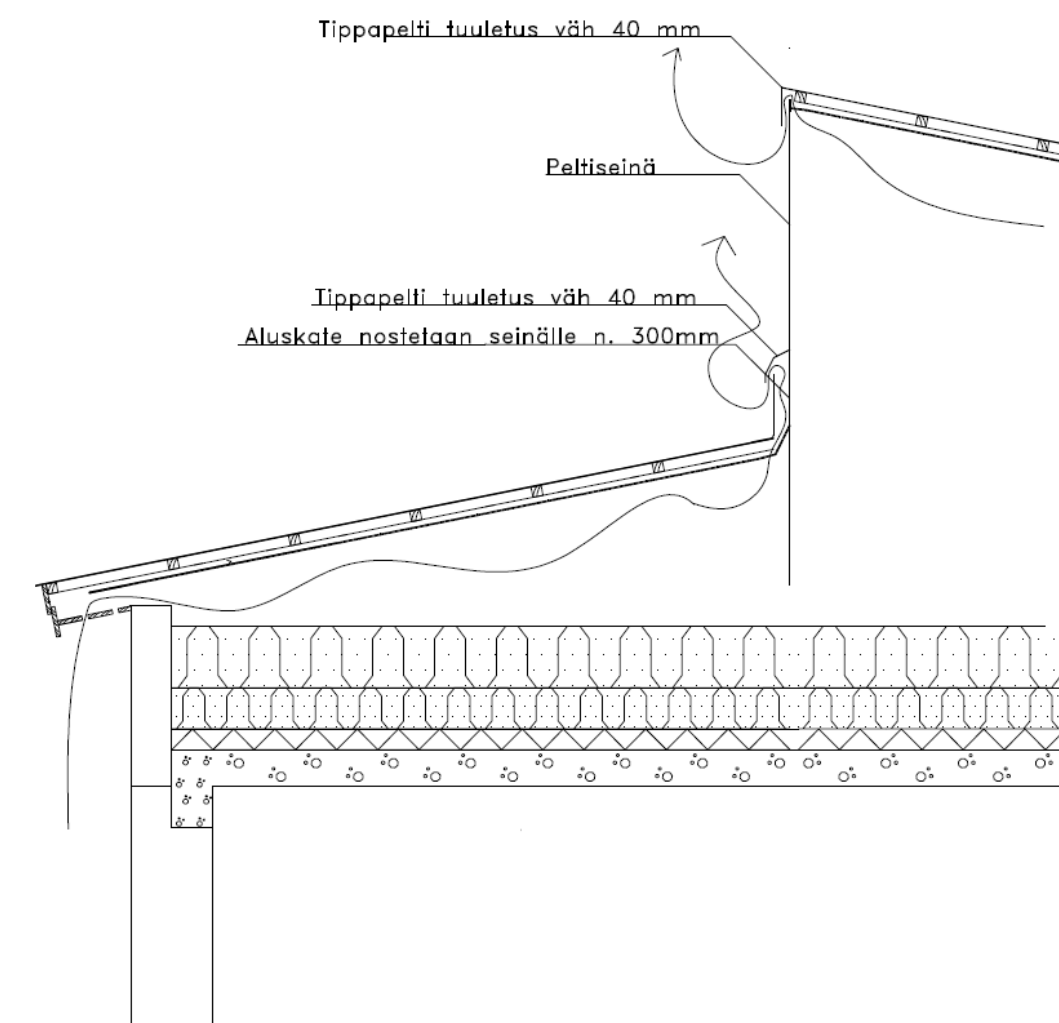


Kuva 16. Alipaineistimet (nuolet kuvaavat lappeiden kaatoja) (Antti Hirvonen)

Ilman IV-konehuonetta koillisella pulpettikaton lappeella riittäisi yläpohjan tuuletukseen räystäältä tulo ja harjalta poisto. IV-konehuoneen estäessä yhtenäisen päätyjen välillä kulkevan ilmareitin, on katolle asennettava kaksi alipaineistajaa. Suomen kattoliiton ohjeistuksen mukaan alipaineistajat tulevat IV-konehuoneen molemmin puolin, metrin päähän palokatkoista. (Suomen kattoliitto)

6.3.4 Harja- ja seinäliitoksen poistoilmat

Koillisen ilmanvaihtokonehuoneen kohdalla ja koillisen siipirakennuksen lyhemmällä lappeella tuuletusmatkan pituus ei ylitä kymmentä metriä, joten poistoilman voi ratkaista perinteisellä painovoimaisella tuetuksella. Poistoilma ratkaistaan pulpettikaton ja seinäliitoksen kohdassa tippapellillä (kuva17).



Kuva 17. Tuuletus tippapellin kautta (Antti Hirvonen)

6.3.5 Tuloilma

Alipainetuulettimia käytettäessä on vaarana muodostaa yläpohjaan liian suuri alipaine. Suuri alipaine voi vetää yläpohjan läpi lämmintä korvausilmaa, joka taas aiheuttaa kosteusongelmia kylmässä yläpohjassa. Tämä ongelma poistuu varmistamalla riittävän korvausilman saannin.

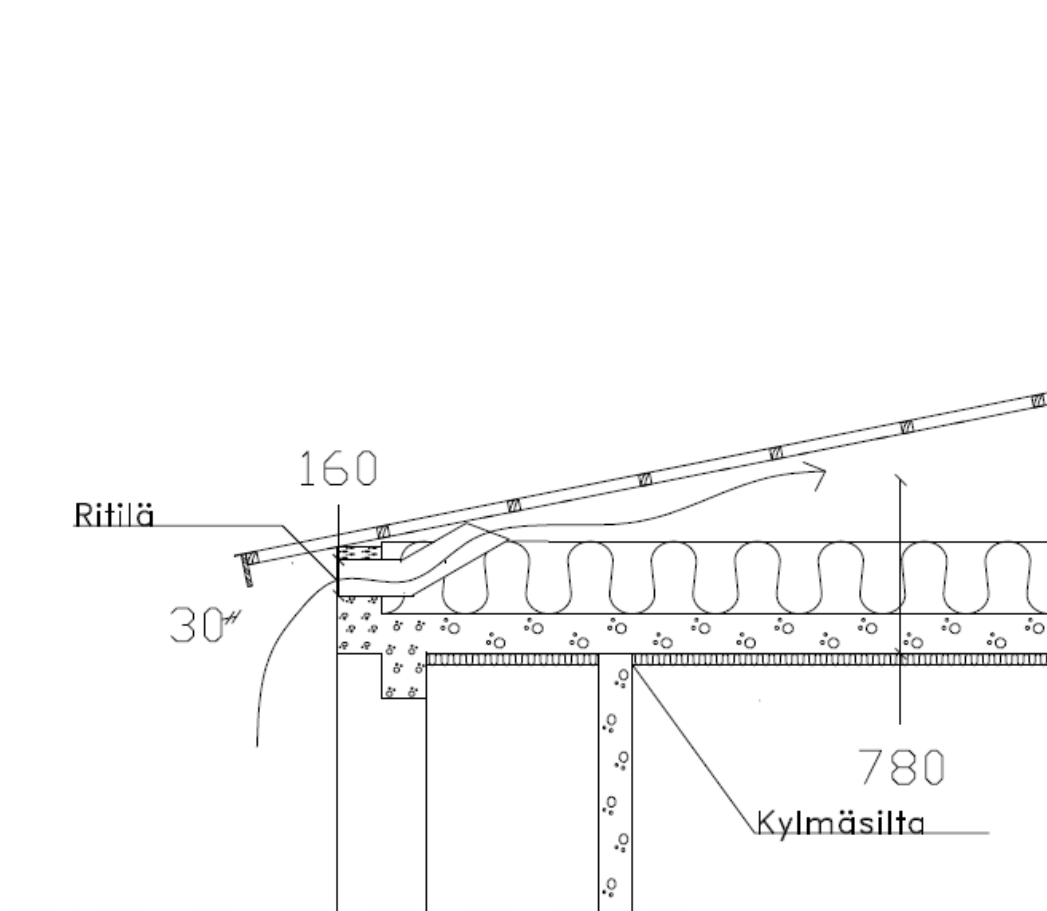
6.3.6 Tuloilma säilyttämällä kattorakenne entisellään

Korvausilma pitäisi järjestää mahdollisimman lähelle räystäitä. Katon mataluuden ja tukkeutuneiden räystään tuuletusaukkojen takia tuloilma-aukkoja ei voi järjestää räystäälle, joten ilma on tuotava putkia pitkin. Putkien

yhteispinta-ala pitäisi olla vähintään $4,3 \text{ m}^2$. Tämä tarkoittasi, että 160 mm halkaisijaltaan olevia putkia pitäisi asentaa katolle räystäälle vähintään 213 kappaletta. Putkia tulisi noin metrin välein

Räystäälle asennettavat putket ovat epäkäytännölliset. Putkien läpiviennit lisäävät aina riskiä. Etenkin räystäällä vesi ja lumikuormat ovat huomattavasti suurempia kuin harjalla. Keväällä sulavat ja tippuvat lumet vahingoittaisivat putkia ja niiden läpivientejä. Putkien eteen olisi asennettava lumiesteet koko räystään matkalle. 116 kappaleen putkirivi häiritsisi huomattavasti huoltotoimenpiteitä. Käytännössä räystäälle asennettavat putket ovat niin riskialtis ja epäkäytännöllinen ratkaisu ettei sitä kannata lähteä toteuttamaan.

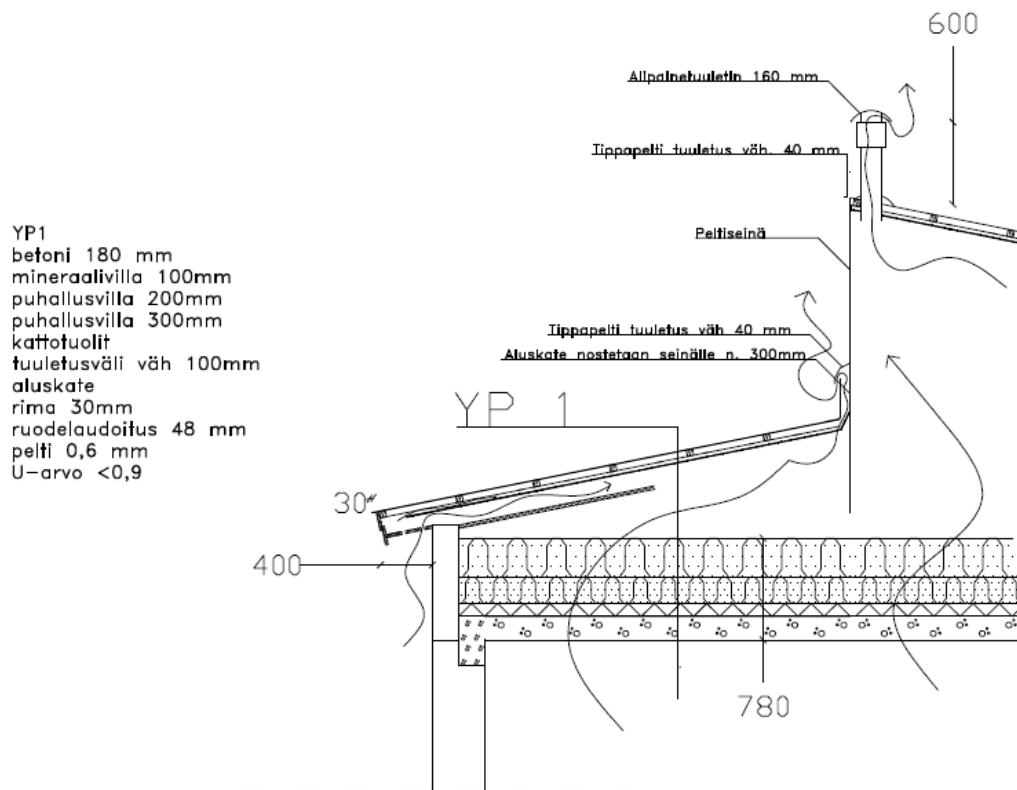
Toinen vaihtoehtoa olisi tuoda 213 kappaletta tuloilmaputkia seinärakenteen ja villoituksen läpi yläpohjatilaan. Tämä toimisi paremmin, kuin vesikatteella olevat tuuletusputket. Putkien veto räystäiden alla olisi riskittömämpi ratkaisu. Koillisen ja lounaisen päätyjen räystäärakenteet olisi muutettava. Nykyinen rakenne vaatisi ilmanvaihtoputkien vedon liian alhaalta yhtenäisen peltikatteen ja rännivälisen rakenteet takia. Putken katkaisivat eristeet ja aiheuttaisivat kylmäsittoja seiniin, sekä heikentäisivät villojen eristeominaisuuksia. Putket pitäisi eristää, niin ettei niiden pintaan muodostu kosteutta ja siirry sitä kautta villoihin. Putkien päähän on asennettava metalliverkot estämään eläinten pääsy yläpohjaan (kuva 18). Asennus tapahtuisi alaviistoon, estämään veden pääsyn eristeisiin.



Kuva 18. Tuloilma seinänläpi

6.3.7 Tuloilma kattoa korottamalla

Tuloilma on järkevintä järjestää räystäiden kautta kattoa korottamalla. Rakennuksen päätyjen umpinaiset räystäät pitää vaihtaa tuulettuviksi. Räystäälle laskennallisesti riittäisi 19 millimetrin tuuletusväli, mutta minimi jo pientaloissa on 20 millimetriä. Katon korottamisen yhteydessä räystäälle jätetään 100 millimetrin väli, joka on vähimmäismitta tuuletusvälille yläpohjassa. Näin varmistetaan minimi välin toteutuminen jo räystäältä lähtiessä sekä riittävä korvausilman saanti alipaineistajien pyöriessä. Tuuletusväliä suurentaessa on vaarana, että tuuli tuo lunta yläpohjaan ja siirtää räystäältä villoja pois. Isommasta tuuletusvälistä pääsevät myös eläimet, kuten linnut yläpohjaan. Pahimmillaan eläimet voivat aiheuttaa mittaviakin tuhoja eristeisiin pesimällä yläpohjaan. Nämä edellä mainitut ongelmat voidaan sulkea pois asentamalla räystäälle harvalauditus ja laudoituksen yläpuolelle metalliverkko. Nämä estävät lumen ja eläinten pääsyn yläpohjaan. Yläpohjaan, on syytä asentaa 1,5 metriä pitkä tuulensuojalevy tuulenohjaajaksi. Levy asennetaan seinälinjasta lähteväksi ja lappeen suuntaiseksi. Levy ohjaa tuulen kohti räystään poistoilma aukkoja ja estää villojen sekoittumisen (kuva19).



Kuva 19. Leikkauskuva tuuletusratkaisuista (Antti Hirvonen)

6.4 Korjaustapa

6.4.1 Korjaustapa kattoa korottamalla

Yläpohjan tuuletuksen poisto tehdään ohjeistuksen mukaisesti yhdellätoista alipaineistetulla poistoputkella. IV-konehuoneiden kohdalla ja koillispään lyhemmällä lappeella poisto voidaan toteuttaa räystäärakenteen kautta.

Poistoilma järjestetään ohjeistuksen mukaan korottamalla kattoa ja jättämällä räystäälle 100 millimetrin tuuletusvälit.

7 KORJAUSEHDOTUS

7.1 Katon rakenteet ja veden poisto

Katon rakenteita on korotettava 400 mm kauttaaltaan, niin että koko yläpohjaan jää räystäältä lähtien vähintään 100 mm tuuletusväli Peltikate ja entinen aluslaudoitus on purettava. Kattojuoksut korotetaan 400 mm kokokaton matkalta ja entiset katon pykälät suoristetaan. Räystäitä jatketaan niin että ne ylittävät ulkoseinän linjan kauttaaltaan 400 mm. Kattojuoksuihin asennetaan vapaasti roikkuva vesihöyryä läpäisevä aluskate. Aluskatteen yläpuolelle jätetään korotusrimoilla 50 mm tuuletusväli. Viimeiseksi asennetaan ruoteet ja uusi konesaumattu peltikate.

7.2 Ikkunaelementti

Ikkunaelementit poistetaan ja siirretään alemmaksi. Elementtien kohdalle tehdään muuta yläpohjaa vastaava rakenne. Kuoppakankaan koulun rakenteet ovat vanhoja. Yläpohjamateriaaliksi täytyy valita kevyt ratkaisu. Puurakenteisen yläpohjan painoksi tulee peltikatteella 50 kg/m², vertailukohdana voidaan käyttää saumattua 150mm paksua ontelolaattaelementtiä. Sen paino on 215 kg/m². (Haahtela Talonrakennuksen kustannustieto)

Puurakenteisen yläpohjan rakenne:

- tuuletettu ilmatila
- sellupuhallusvilla 450 mm
- höyrynsulku
- harvalaudoitus 22x100 mm k300
- kipsilevy, Gyproc GN 13 mm
- pintakäsittely huoneselityksen mukaan

Puurakenteisen ja betonirakenteisen yläpohjan liitoskohtien höyrynsulku ja ilmanpitävyys varmistetaan esimerkiksi saumaamalla liitokset bitumilla.(Isover)

7.3 Eristäminen

Eristetään 300 millimetriä lisää sellupuhallusvillalla, sen ominaisuuksista johtuen.

7.4 Tuuletus

Tuuletuksen poisto järjestetään asentamalla yksitoista alipaineistettua poistoilmaputkea sekä räystäsrakenteiden kautta. Tuloilma toteutetaan 100 mm tuuletusaukoilla räystäältä.

8 KORJAUSTEN KANNATTAVUUS

8.1 Lisäeristämisen tuoma säästö

Eristeiden tuoma säästö selvitetään laskemalla nykyisen ja remontin jälkeisen yläpohjan lämpöhäviöt kaavalla 2. Lämpöhäviöitä verrataan toisiinsa ja saadaan tulokseksi kuinka paljon vähemmän uuden yläpohjan lämpöhäviö on. (Motiva)

$$Q = A * U * \Delta T * h \quad (2)$$

jossa

Q= lämpöhäviö

A= pinta-ala

U= U-arvo

ΔT = sisä- ja ulkopuolen välinen lämpötilaero

h=tunnit

Vanhan yläpohjan pinta-ala on 2128 m², josta 116 m² on lasielementtiä ja 2012 m² on betoni yläpohjaa. Erilaisten materiaalien lämpöhäviöt lasketaan erikseen.

Lasielementtien lämpöhäviö vuodessa on 10 242,9 kWh ja betonisen yläpohjan 51 888,4 kWh. Yhteenlaskettutulos on 62 131,3 kWh.

Lisäeristämisen ja ikkunaelementtien poistamisen jälkeen yläpohjan lämpöhäviöksi vuodessa muodostuu 26 843,3 kWh.

Uuden ja vanhan lämpöhäviöiden erotus on 33 287,9 kWh. Kuoppakankaan koulun lämmitys hoidetaan aluelämmöllä. Aluelämmön kWh hinta on 0,04862 euroa. Lisäeristämisen tuomat säästöt vuodessa on 1618,5 euroa (alv 0 %). (Motiva, Varkauden kaupunki tilapalvelu, Isover, Varkauden aluelämpö)

8.2 Alustava kustannusarvio

Yläpohja korjauskustannusarvioksi muodostuu 330 000 euroa, mutta kyseessä on vanhan rakennuksen remontti. Odotettavissa on lisä ja muutostöitä joita ei voi etukäteen arvioida. Näitä voi olla esimerkiksi katon oikaisu tai joidenkin rakenteiden uusiminen. Laskelmissa on otettu huomioon lisätöiden osuus, kustannusarviota on korotettu kuuden prosenttiyksikön verran lisätöistä ja 3 prosenttia työaikaisten koneiden, rakenteiden ja asennusten johdosta. Alustava kustannusarvio on noin 330 300 euroa. Kustannusarvioon kuuluu materiaali ja asennustyöt.(taulukko6). Työmaanperustamis kustannukset sisältyvät työaikaisten rakenteiden tekoon, sillä työmaalta löytyy valmiina sosiaali- ja taukotilat. Niistä ei siis kerry kuluja. Työmaanperustamis kulut syntyvät työmaan aitaamisesta sekä puutavaran varastoinnista.

Taulukko 6. Kustannusarvio (Antti Hirvonen)

TOIMENPIDE	YKSIKKÖHINTA	MÄÄRÄ	HINTA EUROINA
PELTIKATE PURKU	2,3 EUROA/M2	2300 M2	5290
LASIELEMENTIN PURKU	9,3 EUROA/M2	116 M2	1078,8
PUISEN YLÄPOHJAN TEKO	84,5 EUROA / M2	116 M2	9802
KATON KOROTTAMINEN	33 EUROA / M2	2128 M2	70224
LISÄERISTYS	32,4 EUROA /M3	670 M3	21708
RÄYSTÄIDEN TEKO	72 EUROA /M	210,4 M	15148,8
ALUSKATE	2 EUROA / M2	2300	4600
RUODELAUDOITUS	16 EUROA/M2	2300M2	36800
PELTIKATE TEKO	31 EUROA/M2	2300M2	71 300
IV LÄPIVIENTI	65 EUROA/KPL	11KPL	715
IVPUTKET	60,4EUROA/KPL	11 KPL	664,4
VESIKATTOVARUSTEET	5,4 EUROA/M2	8M2	43,2
UUSI LASIELEMENTTI	15000EUROA/KPL	1 KPL	15000
KOKONAISKUSTANNUSARVIO			260 000
2013 INDEKSIIN LASKETTUNA			287 300
6 % LISÄKUSTANNUS LISÄ-JA MUUTOSTÖILLE + 3 % TYÖNAIKAISET RAKENTEET ASENNUKSET JA KONEET			330 000 €

Kustannusarvio perustuu tuottajien ja Talon 2000- nimikkeistöön. Hinnat ovat sidottu vuoden 2013 indeksiin. Hinnat eivät ole urakan hinta, vaan alustava kustannusarvio. (Haahtela Talonrakennuksen kustannustieto 2010, Suomen selluvillaeristys, Suomen tilastokeskus, Vilpe)

8.3 Remontin hyödyt

Jos remonttia tutkitaan lisäeristämisen hyödyn kannalta, ei sitä kannattaisi teettää. Koulun remontti maksaisi itsensä takaisin energiakustannuksien säästöillä noin 205 vuoden päästä.

Remontin suunnittelun syy on saada koulun yläpohjasta toimiva. Tilaajan lisä toiveena on saada yläpohjasta nykyaikaisten ohjeistuksen mukaan lämpöeristetty. Yläpohjan toimivaksi saattamisen tärkein työ on varmistaa yläpohjan tuuletus. Tuuletuksen ohjeistuksen mukainen ja käytännöllinen ilmanvaihtuvuuden takaamiseksi kattoa on korotettava vähintään 100 mm ja räystäsrakenteita jatkettava. Kustannuksissa ei ole suurta eroa, jos remontissa kattoa korotetaan 400 millimetriä ja saadaan samalla tehtyä yläpohjaan aluskatteet ja tilaajan toivoma nykyaikainen eristys. Energiakustannusten säästöt maksavat lämpöeristuksen kustannukset takaisin 13,5 vuodessa.

Lisäeristämisen on muitakin hyötyjä kuin energiansäästäminen. Eristys vähentää yläpohjasta nousevan lämpimän ilman määrää. Tästä johtuen lumen

sulamisen riski vesikatteelle vähenee. Vesikatteelle ei enää muodostu jääpolanteita, joiden takia vesi jäi seisomaan katolle ja tunkeutui vanhan katteen saumojen välistä yläpohjaan.

Lumi voi sulaa katolle myös ilmastollisista syistä kuten kevät auringon voimasta ja jäätyä illalla polanteeksi. Asentamalla uusi peltikate estetään veden tunkeutuminen katteensaumojen välistä yläpohjaan.

Kattoa korottamalla vesikatteen alle saadaan asennettua vesihöyryä läpäisevä aluskate. Aluskatteen tehtävänä on kuljettaa mahdolliset vesikaton vuodot pois yläpohjasta. Peltikatteen avaruuteen johtuvasta lämpösäteilystä johtuen katteen sisäpintaan voi muodostua kuuraa tai kondensoitua vettä yläpohjasta nousevan lämpimän ilman takia. Hengittävä aluskate mahdollistaa lämpimän ilman vesihöyryn nousemisen ylös, mutta kuljettaa vesikatteen koonneeseen kondensoituneen veden pois.

Remontin höyryjä ja kannattavuutta ei pidä tarkastella vain rakenteiden kannalta. Koulun korjaamattomuus tulee pitkällä aika välillä paljon kalliimmaksi, kuin ongelmin tiedostaminen ja korjaaminen varhaisessa ajassa. Hyödyt eivät jää vain yläpohjan toimimiseen, vaan remontti säästää paljon rahaa pidemmällä aikavälillä. Työterveyslaitoksen valtakunnallisen kosteus ja homevaurio-selvityksen mukaan sairaaloiden, terveyskeskusten, koulujen ja päiväkotien kosteus ja homeongelmien seurauksena maksavat Suomelle noin 500 miljoonaa euroa vuosittain. Arvioiden mukaan kosteus ja homevaurioiden remontoiminen maksaisi Suomelle 1,5 miljardia euroa. Remontit maksaisivat itsensä takaisin kolmessa vuodessa jos kustannuksia verrataan ongelmista johtuviin menetyksiin.

Kuoppakankaan koulun tila alkaa olla siinä pisteessä, että yläpohja on remontoitava. Rakenteissa on jo havaittavissa kosteusvaurioita. Olosuhteista riippuen ei mene pitkään, kun vaurioista seuraa home- ja sisäilma ongelmia. Näiden seurauksina tulee kalliita poissaoloja ja sairastumisia, jotka aiheuttavat kustannuksia pitkään, niin kaupungille kuin koko yhteiskunnalle. Pahimmassa tapauksessa koulu voi mennä käyttökieltoon, jolloin pitää hankkia väistötilat tai remontoida koulu. Homevaurioon ja sisäilmaongelmaan edenneen koulun tilan remontointi kustannukset ovat huomattavasti suuremmat kuin varhaisessa vaiheessa poistetut ongelmat. Homeongelmallisen koulun tutkimus ja remontti eivät rajoitu vain yläpohjaan.

Kuten työterveyslaitoksen tutkimuksessa todetaan, Suomessa maksetaan isoja summia näiden ongelmien seurauksena. Remontin teettämällä saadaan aikaseksi isoja säästöjä takaamalla koulun käyttäjille terve työympäristö, estämällä kalliit poissaolot sekä mahdolliset väistötilojen kustannukset. Remontti lisää muuten toimivalle rakennukselle vielä paljon hyviä käyttövuosia ennen seuraavaa remonttia.

(Työterveyslaitos, eduskunta)

LÄHTEET

Eduskunta. Kosteusongelmat

Saatavilla: <http://web.eduskunta.fi/dman/Document.phx?documentId=er2861216084961>

Ilmatieteenlaitos Ilmasto

Saatavilla: <http://ilmatieteenlaitos.fi/talvi-2012-2013>

Isover Oy. Rakennuseristeet KL-32

Saatavilla: <http://www.isover.fi/tuotteet/rakennuseristeet/kevyet-rakennuseristeet/2576/isover-kl-32>

Isover Oy. Rakennuseristeet KL-33

Saatavilla: <http://www.isover.fi/tuotteet/rakennuseristeet/kevyet-rakennuseristeet/2558/isover-kl-33>

Isover Oy. Rakennuseristeet puhallusvilla

Saatavilla: <http://www.isover.fi/tuotteet/rakennuseristeet/puhallusvilla/2536/isover-puhallusvilla>

Isover Oy. Rakennuseristeet tyhjiöeriste

Saatavilla: <http://www.isover.fi/tuoteseloste/4854/isover-vacupad-kontur-007.pdf>

Lämpö ja kosteus Rakennusfysiikka, rakennustieto 1997, Dick Björkholtz SIVU 44

Monier. Kattorakenteita

Saatavilla: <http://www.monier.fi/kattoammattilaisille/esitemateriaali/tekni-set-piirroks-et-ja-ohjeet.html>

Motiva Oy. Lämpöhäviö

Saatavilla: http://www.motiva.fi/files/1417/Motiwatti_2.0_energiakatselmoijan_tyokalun_laskentaperiaatteet.pdf

Rakennustieto, Kerrostalot 1960-1985, Kirjapaino: Tammer-Paino Oy, 1994

Suomen kattoliitto. Katon ilmavaihto

Saatavilla: http://www.kattoliitto.fi/files/504/Toimivat_Katot_2013_reduced_size_.pdf

Suomen selluvilla-eriste Oy. puhallusselluvilla

Saatavilla: <http://www.selluvilla.net/?cat=3>, <http://www.selluvilla.net/?cat=20>

The EU climate and energy package 2020

Saatavissa: http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm

Tilastokeskus. Indeksikehitys

Saatavilla: https://tilastokeskus.fi/til/rki/2013/09/rki_2013_09_2013-10-15_tau_001.fi.html

Työterveyslaitos. Homeongelmien kustannukset

Saatavilla: http://www.ttl.fi/fi/uutiset/Sivut/akuutti_04092013_homeo-ngelma.aspx

Uretaani eristelevy

<http://www.taloon.com/spu-vintti-iita-70x600x2600/JJ-52-64gjad/dp?openGroup=267>

Varkauden aluelämpö Oy. hinnat

Varkauden kansakoulu 100-vuotias, Liikealan Kirjapaino, Varkaus 1962

Varkauden kaupunki rakennusvalvonta 2013

Varkauden lukio

Saatavilla: <http://www.sakky.fi/fi/Kuntayhtyma/koulutusyksik%C3%B6t/Varkauden%20lukio/PublishingImages/Varkauden%20lukion%20historiaa.pdf>

Varkauden rakennuskulttuuria 1996. Gummrus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 1996

Vilpe Oy. huippuimuri

Saatavilla: http://www.vilpe.com/Suomeksi/Loivat_katot

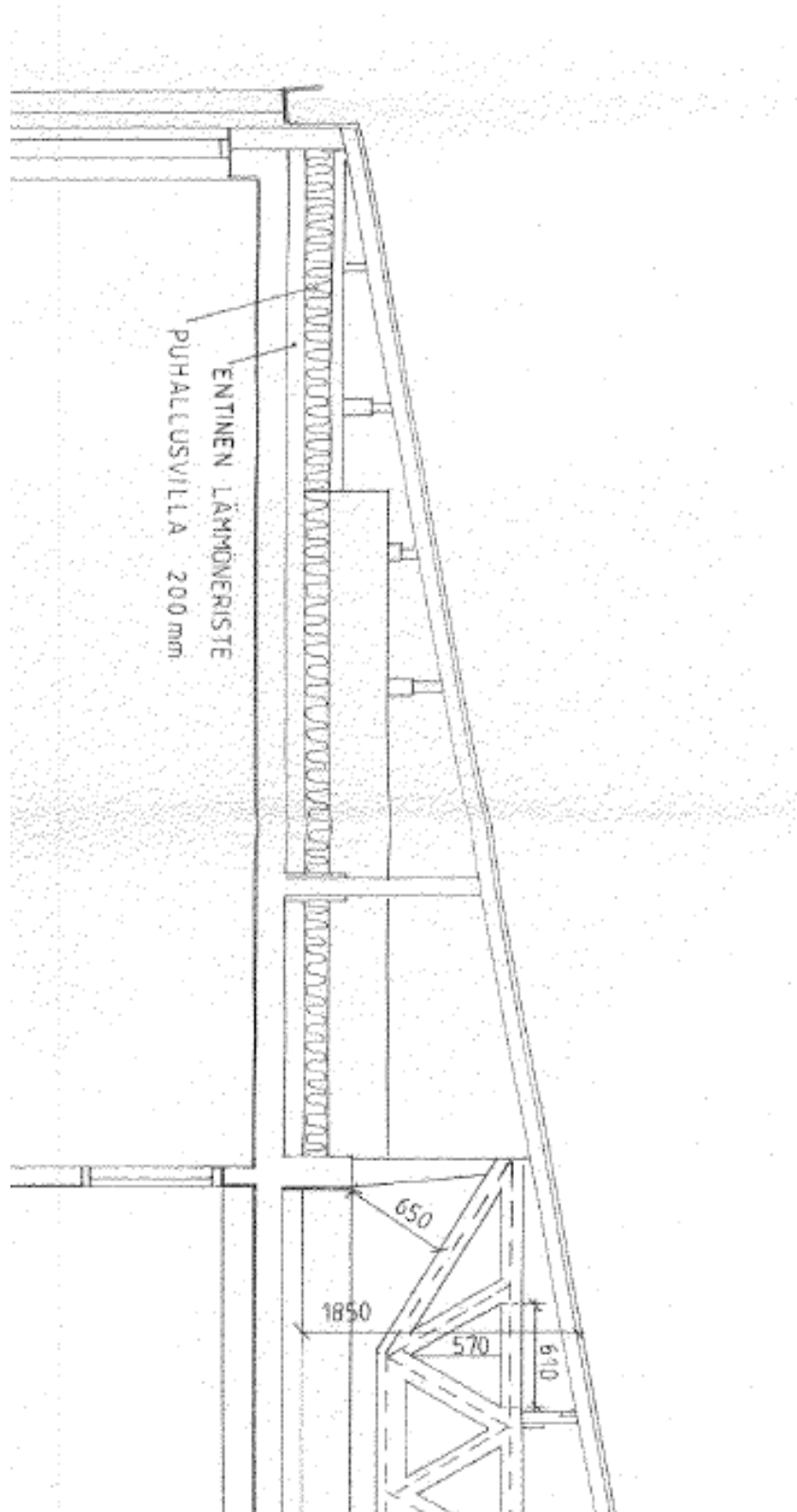
Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto Suomen rakentamismääräyskokoelma KOSTEUS, Määräykset ja ohjeet 1998

Ympäristöministeriö. Rakennysmääräyskokoelma

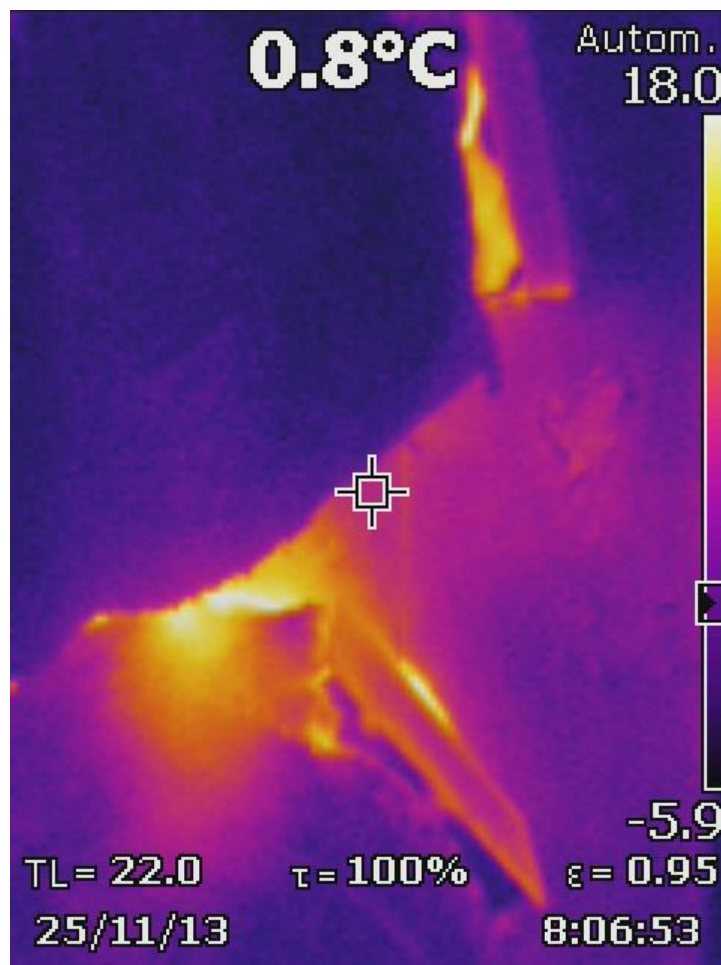
Yttertak & Balkonger. Skador på hus, vad gör man? Kustantaja Building Research. Bygghälsöförhållanden. 1991

Lähteet tarkastettu 9.12.2013

Ullakon lisäeriste ja rakenne (Varkauden kaupunki rakennusvalvonta)



Fluke lämpökamerakuvat IV-kanavavuoto (Antti Hirvonen)



Fluke lämpökamerakuvat eristeet (Antti Hirvonen)



Kosteusmittaus lukutaulukko (Gan Hyndromette UNI 2 ohjekirja s2)

Mittausarvot suhteessa materiaaliitiheyteen

Aineen tiheys kg/m ³	erittäin kuiva	normaali kuiva	puoli- kuiva	kostea	hyvin kostea	märkä
alle 600	10-20	20-40	40-60	60-90	90-110	yli 110
600-1200	20-30	30-50	50-70	70-100	100-120	yli 120
1200-1800	20-40	40-60	60-80	80-110	110-130	yli 130
yli 1800	30-50	50-70	70-90	90-120	120-140	yli 140

Mittausarvot suhteessa painoprosentteihin

lukema		40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
sementti- laasti	paino %	1.8	2.2	2.7	3.2	3.6	4.1	4.5	5.0	5.5	5.9	
anhydriitti- lattia	paino %	0.1	0.3	0.6	1.0	1.4	1.8	2.2	2.5	2.9	3.3	
betoni	paino %			kuiva 1.3	1.9	2.5	kostea 3.2	3.8	4.4	märkä 5.0	5.6	6.2
sementti- rappaus	paino %	1.8	2.7	3.5	4.6	6.0	7.0	7.8				
kalkki- laasti	paino %	0.6	2.0	3.3	4.5							
kalkki- sementti- laasti	paino %	2.2	3.6	5.0	6.4	7.8	9.2	10.6	11.0			
kipsi- laasti	paino %	0.3	0.5	1.0	2.0	3.5	6.5	10.0				

Oheiset lukemat ovat lähinnä ohjeellisia ja ne on poimittu alan erikoisjulkaisuista. Näin ollen takuuta lukujen ehdottomasta täsmällisyydestä ei voida antaa. Johtopäätökset, jotka laitteen käyttäjä tekee mitattavasta kohteesta, perustuvat siten alalla hankittuun kokemukseen ja mittauskohteen yksilöllisyyteen.

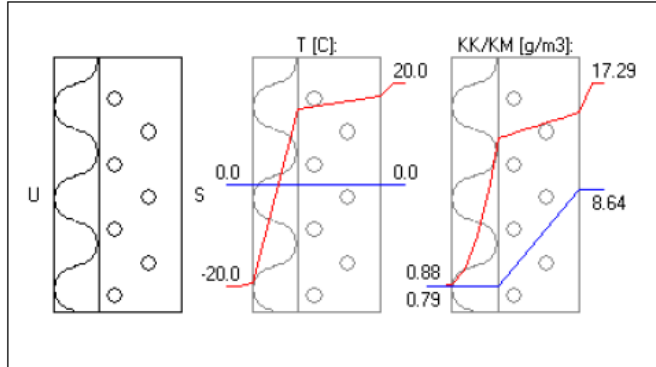
Dof-lämpö-ohjelma, Ullakon alkuperäinen eristys

Rakennuskohde: Kuoppakankaan koulu	Sisältö: Yläpohja	
Suunnittelija: Antti Hirvonen	Päiväys: 11/18/2013	Tunnus:

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo: 0.471 W/m²K
 Paksuus: 280.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 363.00 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 2.526e+04 m²hPa/g
 Vesih. läpäisy kerroin: 3.958e-05 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 2.122 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Mineraalivilla	100.00	0.0550	1.050000e-10	0.00	30.00
2 Betoni, keskitiheys	180.00	1.3500	2.000000e-12	0.00	2000.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.25	0.94	0.79	84.0	0.00
2	15.03	12.85	0.87	6.8	0.00
3	17.55	14.96	8.64	57.8	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

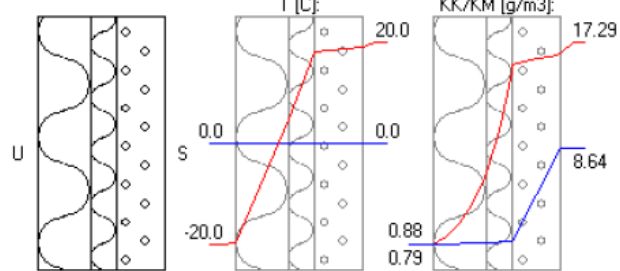
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Dof-lämpö-ohjelma, Ullakon peruskorjauksen jälkeinen eristys

Rakennuskohde: Kuoppakankaan koulu	Sisältö: Yläpohja	
Suunnittelija: Antti Hirvonen	Päiväys: 11/18/2013	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.183 W/m ² K
Paksuus:	480.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	369.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	2.579e+04 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	3.877e-05 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	5.455 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Puhallusvuorivilla	200.00	0.0600	1.050000e-10	0.00	30.00
2 Mineraalivilla	100.00	0.0550	1.050000e-10	0.00	30.00
3 Betoni, keskitiheyks	180.00	1.3500	2.000000e-12	0.00	2000.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.71	0.90	0.79	87.6	0.00
2	4.74	6.68	0.95	14.3	0.00
3	18.07	15.43	1.03	6.7	0.00
4	19.05	16.35	8.64	52.9	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

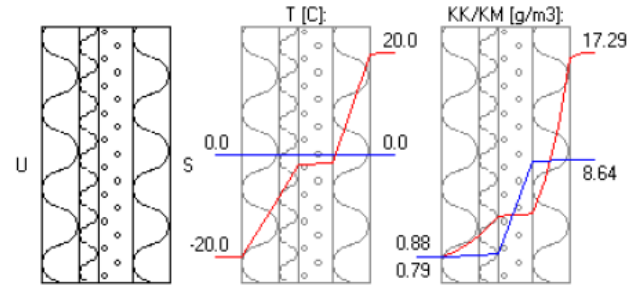
Lisätiedot:

Dof-lämpö-ohjelma, KL-33 lämpimälle puolelle

Rakennuskohde: Kuoppakankaan koulu	Sisältö: Yläpohja	
Suunnittelija: Antti Hirvonen	Päiväys: 11/18/2013	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.087 W/m2K
Paksuus:	680.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m2
Paino:	375.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	2.632e+04 m2hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	3.799e-05 g/m2hPa
Lämmönvastus:	11.515 m2K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m2K/W
Kulma (0-90):	90.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Puhallusvuorivilla	200.00	0.0600	1.050000e-10	0.00	30.00
2 Mineraalivilla	100.00	0.0550	1.050000e-10	0.00	30.00
3 Betoni, keskitiheyks	180.00	1.3500	2.000000e-12	0.00	2000.00
4 ISOVER KL 33	200.00	0.0330	1.050000e-10	0.00	30.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.86	0.89	0.79	88.9	0.00
2	-8.28	2.47	0.95	38.4	0.00
3	-1.97	4.15	1.03	24.8	0.00
4	-1.50	4.30	8.49	100.0	0.00
5	19.55	16.84	8.64	51.3	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

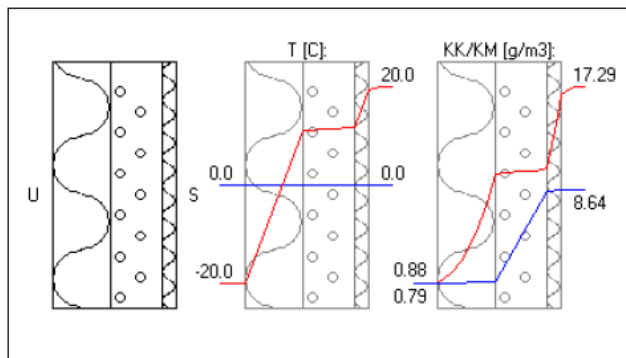
Lisätiedot:

Dof-lämpö-ohjelma, Eristeiden vaihto KL-32 molemmin puolin

Rakennuskohde: Kuoppakankaan koulu	Sisältö: Yläpohja	
Suunnittelija: Antti Hirvonen	Päiväys: 18.11.2013	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.123 W/m ² K
Paksuus:	430.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	367.50 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	2.566e+04 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	3.897e-05 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	8.116 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER KL 32	200.00	0.0320	1.050000e-10	0.00	30.00
2 Betoni, keskitiheys	180.00	1.3500	2.000000e-12	0.00	2000.00
3 Mineraalivilla	50.00	0.0320	1.050000e-10	0.00	30.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.80	0.90	0.79	88.4	0.00
2	11.00	10.01	0.95	9.5	0.00
3	11.66	10.43	8.60	82.4	0.00
4	19.36	16.65	8.64	51.9	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Dof-lämpö-ohjelma, Eristeiden vaihto tyhjiöeriste

Rakennuskohde: Kuoppakankaan koulu	Sisältö: Yläpohja	
Suunnittelija: Antti Hirvonen	Päiväys: 18.11.2013	Tunnus:

Rakenteen päätiedot: U-arvo: 0.092 W/m ² K Paksuus: 410.000 mm Pinta-ala: 1.00 m ² Paino: 366.90 kg Hinta: 0.00 euro Vesihöyryn vastus: 2.561e+04 m ² hPa/g Vesih. läpäisykerroin: 3.905e-05 g/m ² hPa Lämmönvastus: 10.839 m ² K/W Pintavastus, ulko: 0.040 m ² K/W Pintavastus, sisä: 0.130 m ² K/W Kulma (0-90): 90.000	
---	--

Rakenteen kerrostiedot:						Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	
1 ISOVER KL 32	200.00	0.0320	1.050000e-10	0.00	30.00	
2 Betoni, keskitiheys	180.00	1.3500	2.000000e-12	0.00	2000.00	
3 Tyhjiöeristelevy	30.00	0.0070	1.050000e-10	0.00	30.00	

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:						3:n päivän kylmin (0.0 h)	Lisätiedot:
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:		
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00		
1	-19.85	0.89	0.79	88.8	0.00		
2	3.21	6.03	0.95	15.8	0.00		
3	3.70	6.24	8.62	100.0	0.00		
4	19.52	16.81	8.64	51.4	0.00		
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00		

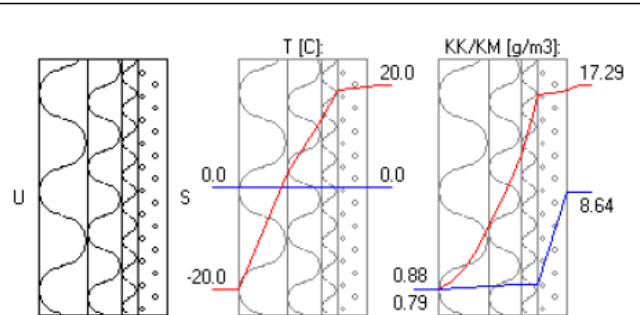
Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Dof-lämpö-ohjelma, Lisäeristys puhallusvilla

Rakennuskohde: Kuoppakankaan koulu	Sisältö: Yläpohja	
Suunnittelija: Antti Hirvonen	Päiväys: 11/18/2013	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.078 W/m ² K
Paksuus:	780.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	378.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	2.659e+04 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	3.761e-05 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	12.772 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Sellupuhallusvilla	300.00	0.0410	1.050000e-10	0.00	30.00
2 Puhallusvuorivilla	200.00	0.0600	1.050000e-10	0.00	30.00
3 Mineraalivilla	100.00	0.0550	1.050000e-10	0.00	30.00
4 Betoni, keskitiheys	180.00	1.3500	2.000000e-12	0.00	2000.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.87	0.89	0.79	89.0	0.00
2	3.04	5.96	1.03	17.2	0.00
3	13.48	11.69	1.18	10.1	0.00
4	19.18	16.47	1.26	7.7	0.00
5	19.59	16.88	8.64	51.2	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

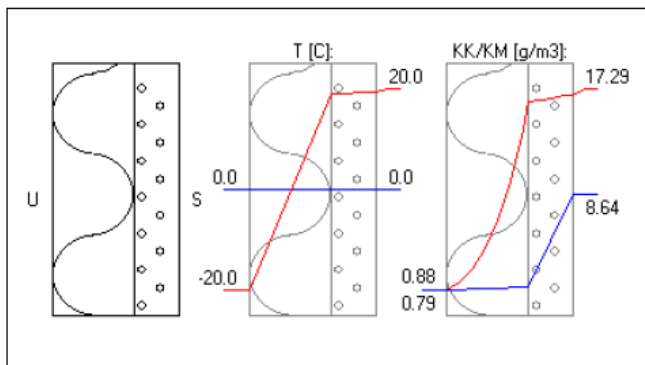
Dof-lämpö-ohjelma, eristeiden vaihto KL-32

Rakennuskohde: Kuoppakankaan koulu	Sisältö: Yläpohja	
Suunnittelija: Antti Hirvonen	Päiväys: 18.11.2013	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.097 W/m²K
 Paksuus: 500.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 369.60 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 2.585e+04 m²hPa/g
 Vesih. läpäisy kerroin: 3.869e-05 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 10.303 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	ISOVER KL 32	320.00	0.0320	1.050000e-10	0.00	30.00
2	Betoni, keskitiheys	180.00	1.3500	2.000000e-12	0.00	2000.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

3:n päivän kylmin (0.0 h) Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.84	0.89	0.79	88.7	0.00
2	18.98	16.28	1.05	6.4	0.00
3	19.50	16.78	8.64	51.5	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus